


**Berner Alpenbahn-Gesellschaft**
**Bern - Lötschberg - Simplon**



# Schluss-Bericht

an das

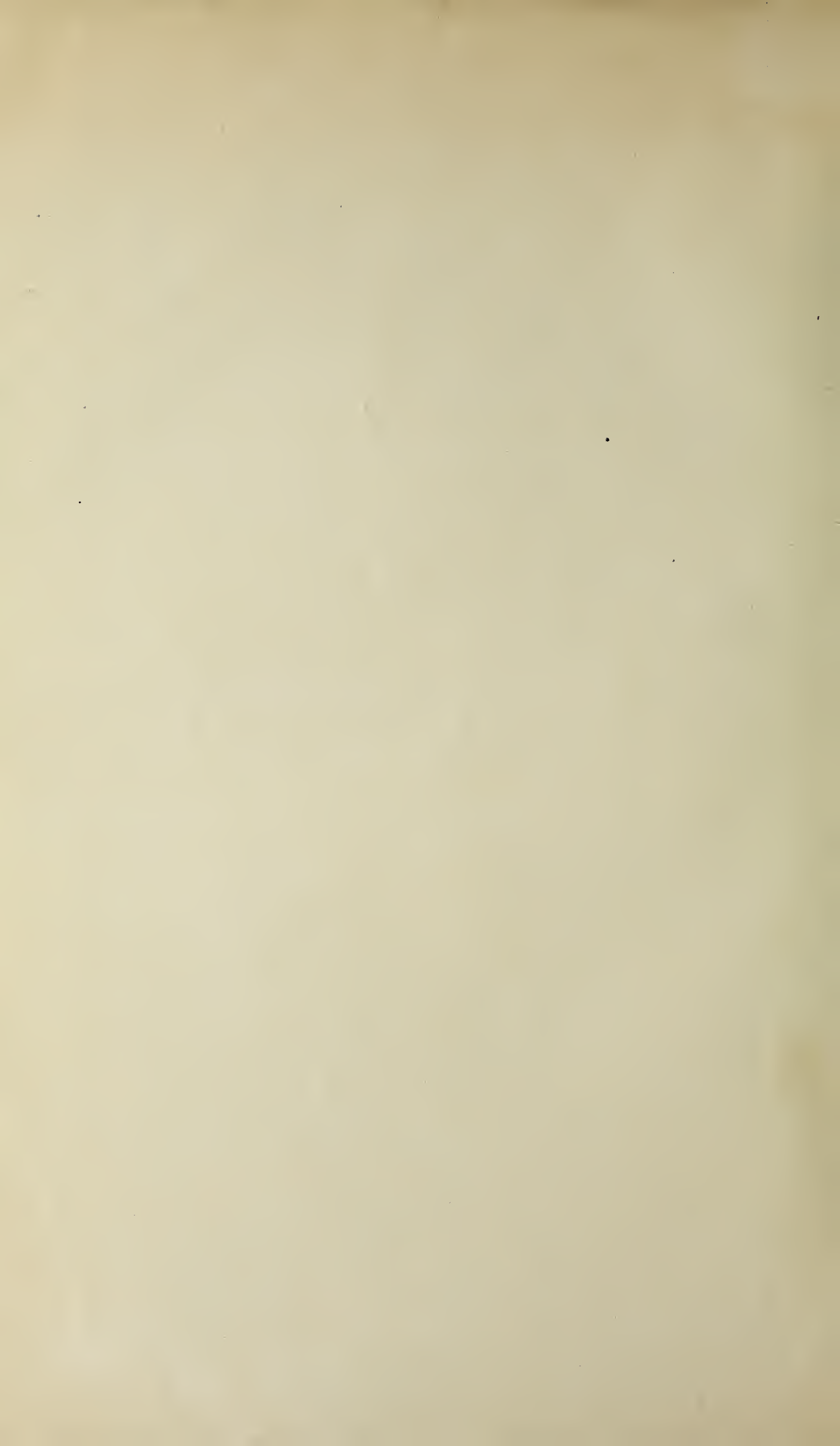
eidgenössische Post- und Eisenbahndepartement

## über den Bau des Lötschbergtunnels der Berner Alpenbahn

## 1906—1913



Bern - Selbstverlag der Gesellschaft - 1914



Berner Alpenbahn-Gesellschaft
Bern-Lötschberg-Simplon.

# Schluss-Bericht

an das

eidgenössische Post- und Eisenbahndepartement

über den

# Bau des Lötschbergtunnels

der

## Berner Alpenbahn

### 1906–1913.



BERN
Selbstverlag der Gesellschaft
1914.

Berner Alpenbahn-Gesellschaft
Bern-Lötschberg-Simplon.

# Schluss-Bericht

an

das eidgenössische Post- und Eisenbahndepartement

über

## den Bau des Lötschbergtunnels der Berner Alpenbahn

1906—1913.

## Einleitung.

Der Lötschbergtunnel, als das wichtigste Bauwerk der Berner Alpenbahn, verbindet Kandersteg auf der Nordseite mit Goppenstein auf der Südseite unter der Kette der Berner Alpen durch zwischen dem Balmhorn und dem Hockenhorn.

Das ursprüngliche Tracé bestand aus einer Geraden, welche eine Neigung von 29° 05, von Norden westlich vom Meridian hatte. Infolge des Einsturzes im Gasterntal trat eine Tracéänderung ein, die Linie wurde zwischen km 1,200—9,600 östlich von der Geraden verlegt. Die nunmehrige Tunnellänge zwischen den Vertragsportalen beträgt 14535 m und zwischen den ausgeführten Portalen 14605 m. Das Tunneltracé hat, vom Nordportal auf der Höhe 1200 m ü. M. beginnend, eine Steigung von 7 ‰ auf 5390 m und von 3,8 ‰ auf 1690 m, worauf die Kulminationshorizontale von 308 m Länge in der Höhe 1242,80 m ü. M. folgt. Gegen Süden fällt der Tunnel mit 2,412 ‰ auf 2819 m und mit 3,8 ‰ auf 4328 m, um das Südportal in der Höhe 1219,55 m zu erreichen. Die Richtungsverhältnisse sind die folgenden:

| | |
|---|---|
| In der Kurve von 400 m sind . . . . . . . . . . . | 39,10 m |
| In der Kurve von 1100 m sind . . . . . . . . . . . | 2236,90 m |
| und in der Geraden sind . . . . . . . . . . . . . . | 12259,00 m. |

Als Zufuhr zum Nordportal bestand die Kantonsstrasse von Frutigen nach Kandersteg, dagegen auf der Südseite nur ein 3 m breiter Saumpfad von Gampel nach dem Lötschental. Dieser wurde nun streckenweise verbreitert und korrigiert und als Zufuhr benützt bis zur Eröffnung der Dienstbahn am 10. August 1908 von Naters her. Der Dienstbahnbetrieb wurde auf der Nordseite am 28. August 1907 eröffnet von Frutigen nach Kandersteg.

Der Lötschbergtunnel, der die längste Bauzeit erforderte, wurde sofort in Angriff genommen, für die Rampenstrecken waren noch die Terrainaufnahmen auszuführen und das Ausführungsprojekt auszuarbeiten.

## A. Arbeiten ausserhalb des Tunnels.

### Installationen.

Die Installationen für den Baubetrieb befanden sich beidseitig in der Portalnähe; in Kandersteg war ein gut geeignetes ebenes Terrain von hinreichender Grösse zur Verfügung, dagegen hatte man in Goppenstein wegen dem sehr eingeengten Tal der Lonza und der Lawinengefahr keine grosse Dispositionsfreiheit und fiel ein Teil der Gebäude in das Stationsgebiet selbst.

Die Installationen enthalten die Gebäude für die Kompressorenanlage, die Werkstätten, die Tunnelventilation, die Bäder und Trockenanstalt, die Magazine und Bureaux und für die Arbeiterunterkunft, die Leitungen für die Luft der mechanischen Bohrung, der Ventilation und des Wassers, für die Zuführung von elektrischer Kraft, sowie die Transportmittel.

Aus der folgenden Zusammenstellung gehen die überbauten Gebäudeflächen hervor:

| | | Kandersteg | Goppenstein |
|---|---|---|---|
| Maschinengebäude, Werkstätten, Bureaux . . | $m^2$ | 3710 | 3200 |
| Magazine, Stallungen, Remisen . . . . . . . | $m^2$ | 2900 | 1140 |
| Zubereitung der Baumaterialien . . . . . | $m^2$ | 760 | 1220 |
| Gebäude für Wohlfahrtseinrichtungen . . . | $m^2$ | 1870 | 2430 |
| Beamten- und Arbeiterwohnungen . . . . . | $m^2$ | 2880 | 6350 |
| *Total überbaute Grundfläche* | $m^2$ | 12120 | 14340 |

Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich, dass die Lage von Goppenstein ungünstiger war, indem die Gebäude für den Baubetrieb eine geringere Fläche einnahmen wie in Kandersteg, 7990 $m^2$ gegenüber 9240 $m^2$. Dafür mussten für die Unterkunft der Beamten und Arbeiter in Kandersteg nur 2880 $m^2$ überbaut werden gegenüber 6350 $m^2$ in Goppenstein, weil in Kandersteg der grössere Teil der Baracken durch die Privatindustrie erbaut wurde.

Die für den Baubetrieb erforderlichen Maschinenanlagen weichen beidseitig nicht viel von einander ab und werden deshalb hier nur diejenigen für Kandersteg aufgeführt.

Die elektrische Kraft wurde für die Nordseite von der Zentrale Spiez der bernischen Kraftwerke entnommen, für die Südseite von der Zentrale im Klösterli der Lonzawerke. Es kam Wechselstrom von 15000 Volt Spannung bei 40 Perioden zur Verwendung. Der maximale Kraftbedarf wurde auf 2500 PS für eine Seite inklusive des Kraftverbrauches für die Rampen festgesetzt, welcher successive sich bis zum Maximum steigerte.

Für die Kraftbeschaffung war eine elektrische Zentrale mit allen Transformatoren, Schutzvorrichtungen und Zählapparaten aufgestellt, von wo die Kraftverteilung ausging.

Die elektrische Zentrale enthielt:

- 2 Oeltransformatoren für 15000/500 Volt, 20/580 Ampère bei 40 Perioden,
- 2 Oeltransformatoren für 500/125 Volt.
- 1 Ladestation bestehend aus:
  - 1 Drehstrommotor für 250 Volt,
  - 1 Drehstromgenerator für 30 Volt,
  - 1 Stangentransformator für 500/125 Volt und
  - 1 komplete Kraftmesserstation.

Die Niederdruck-Luftkompressorenanlage der mechanischen Bohrung enthielt:

- 3 Drehstrommotoren von 500 Volt, 430 Ampère bei 470 Minutentouren,
- 3 Meyersche Zwillingskompressoren zur Komprimierung von circa 55 $m^3$ Luft pro Minute auf 10 Atmosphären max. bei 110 Minutentouren,
- 2 Luftreservoir.

Die Hochdruck-Luftkompressorenanlage für den Transport enthielt:

- 2 Drehstrommotoren von 500 Volt, 275 Ampère bei 470 Minutentouren und 40 Perioden mit Anlasswiderstand,
- 2 fünfstufige mit Kühler versehene Meyersche Kompressoren zum Komprimieren von circa 16 $m^3$ Luft pro Minute auf im Maximum 120 Atmosphären bei 135 Minutentouren.

Die Ventilationsanlage bestand aus:

- 2 Zentrifugal-Ventilatoren Capell von 3,5 m Durchmesser, welche 25 $m^3$ Luft pro Sekunde bei 250 mm Druck Wassersäule bei 290 Minutentouren zu liefern hatten,
- 2 Drehstrommotoren für 500 Volt, 135 Ampère bei 580 Minutentouren und 40 Perioden.

Beide Ventilatoren konnten auf Quantum arbeiten.

Für die sekundäre Ventilation waren auf zwei Wagen aufgestellt:

2 Oeltransformatoren für 15000/500 Volt, 54/156 Ampère bei 40 Perioden.

2 Transformatoren für 500/125 Volt, 13/51 Ampère bei 40 Perioden,

4 Zentrifugal-Ventilatoren Sulzer je 2 auf Druck gekuppelt für circa 2 $m^3$ Luft pro Sekunde bei 800 mm Wassersäulendruck im Maximum bei 1200 Minutentouren.

Die Wasserversorgungsanlage bestand aus:

2 Drehstrommotoren für 500 Volt, 55 Ampère bei 770 Minutentouren mit Anlasswiderstand,

1 einfache Niederdruck-Zentrifugalpumpe zur Förderung von 600 Minutenliter bei 1 Atmosphäre Druck und 1600 Minutentouren,

2 sechsfache Hochdruckzentrifugalpumpen zur Förderung von 600 Minutenliter bei 13 Atmosphären Druck und 1500 Minutentouren,

1 Hochdruckreservoir,

2 Niederdruckreservoir.

In der Werkstatt waren in Betrieb:

1 Drehstrommotor für 500 Volt, 53 Ampère und 780 Minutentouren,

1 Laufkrahn mit 300 kg Tragkraft,

Alle Werkzeugmaschinen.

In der Bohrerschmiede waren aufgestellt:

1 Ajax-Kreuzbohrer-Schmiedemaschine für die mechanische Bohrung,

3 Doppelessen,

3 Rundfeuer.

In der Kompressorenhalle waren

2 Laufkrahnen von je 5000 kg Tragkraft aufgestellt.

In der Sägerei war

1 Drehstrommotor für 500 Volt, 28 Ampère bei 780 Minutentouren in Betrieb, ausserdem die

Werkzeugmaschinen.

Für die Bad- und Tröcknungsanstalt war

1 Drehstommotor für 128 Volt, 40 Ampère bei 1160 Minutentouren aufgestellt, ausserdem die erforderlichen

Waschmaschinen und die

Dampfheizungsanlage für die

4 Wannenbäder und

150 Douchenbäder.

Zur Herstellung von Schotter und Sand waren

3 Konkasseur-Anlagen in Betrieb mit

3 Drehstrommotoren für 500 Volt, 28—55 Ampère bei 770 Minutentouren, samt den erforderlichen Steinbrechermaschinen.

Für die Bindemittelfabrik war

1 Drehstrommotor von 500 Volt, 140 Ampère bei 780 Minutentouren aufgestellt samt allen Maschinen und

4 Silo für das fertige Mahlgut.

Die Installationsplätze und Gebäude erhielten die elektrische Beleuchtung.

In Goppenstein wurden die Kompressoren zur Komprimierung der Luft von Ingersoll Rand geliefert, die eine andere Konstruktionsart aufwiesen bei den gleichen Leistungen wie in Kandersteg.

Für den Tunnelbetrieb waren im Maximum 2000 P. S. für eine Seite erforderlich, die übrige Kraft wurde bei der Rampe verwendet.

Die im Betriebe befindlichen Transportmittel bestanden aus folgenden Geleisen und Rollmaterial:

| | | Nordseite | Südseite |
|---|---|---|---|
| Geleise von 75 cm Spurweite | m | 20800 | 16830 |
| Geleise von 60 cm Spurweite | m | 100 | 200 |
| Weichen von 75 cm Spurweite | Stück | 81 | 53 |
| Weichen von 60 cm Spurweite | Stück | — | 3 |
| Pressluftlokomotiven von 75 cm Spurweite | Stück | 5 | 5 |
| Dampflokomotiven von 75 cm Spurweite | Stück | 5 | 5 |
| Kastenwagen von 1—2 $m^3$ Fassungsvermögen | Stück | 408 | 312 |
| Plattformwagen | Stück | 32 | 22 |
| Personenwagen | Stück | 23 | 36 |
| Décauvillewagen von 60 cm Spurweite | Stück | 12 | 8 |
| An Rohrleitungen waren verlegt: | | | |
| Niederdruckluftleitung, 169 mm l. W. | m | 7640 | 12200 |
| Hochdruckluftleitung, 50—90 mm l. W. | m | 6120 | 5550 |
| Niederdruckluftleitung, 50—90 mm l. W. | m | 270 | |
| Wasserdruckleitung 115 mm l. W. | m | 7270 | 5550 |
| Ventilationsleitung, 450—580 mm l. W. | m | 3000 | 3230 |
| An elektrischen Leitungen waren gelegt: | | | |
| Hochspannungsleitung 15000 Volt | m | 5130 | 3300 |
| Mittelspannungsleitung 500 Volt | m | 1960 | 2060 |
| Niederspannungsleitung 125 Volt | m | 4190 | 500 |
| Telephonleitung | m | 10400 | 5880 |

Ausserdem waren noch verschiedene Leitungen für die Wasserabfuhr aus den Gebäuden und für elektrische Beleuchtung ausserhalb des Tunnels verlegt.

Für die Erstellung der Installationen und deren spätern Abbruch wurden die folgenden Schichten aufgewendet:

| | Nordseite | Südseite | Total |
|---|---|---|---|
| Arbeiterschichten | 153700 | 83370 | 237070 |
| Zugtierschichten | 1500 | 2000 | 3500 |

Mit dem Bau der Installationen wurde sofort am 1. August 1906 begonnen und dauerte die successive Vergrösserung derselben bis im Jahre 1909.

# B. Arbeiten im Tunnel.

## I. Ausbruch.

### 1. Sohlstollen.

Die Tunnelarbeiten begannen mit dem Vortrieb des Sohlstollens.

Der Sohlstollenvortrieb im Lötschbergtunnel wurde nach dem Luftbohrsystem mit Perkussionsbohrmaschinen ausgeführt. Es wurde zur Luftbohrung gegriffen, weil man sich von der primären Ventilation ohne Parallelstollen keine genügende Wirkung versprach und daher die Arbeitsluft gleichzeitig zur Ventilation benutzt werden musste. Ausserdem hoffte man bei den Perkussionsbohrmaschinen im Granit einen grössern Fortschritt wie mit den Brandt'schen Bohrmaschinen zu erreichen. Es wurden auf der Nordseite die Meyersche Perkussionsbohrmaschine und auf der Südseite die Ingersoll Rand gewählt, Maschinen, die sich in der Praxis gut bewährt hatten.

Der Stollenvortrieb begann auf der Nordseite am Portal am 2. November 1906 von Hand bis die mechanische Bohrung am 7. März 1907 aufgenommen werden konnte. Auf der Südseite wurde unter denselben Verhältnissen die Handbohrung am Portal am 1. November 1906 begonnen und dauerte bis am 9. April 1907, mit welchem Zeitpunkt die mechanische Bohrung mit den provisorischen Installationen in Betrieb trat.

Auf der Nordseite wurden die definitiven Installationen am 24. Januar 1908 dem Betriebe übergeben, auf der Südseite am 22. Juli 1908.

Die mechanische Bohrung blieb auf der Nordseite im Gange bis zum 24. Juli 1908 und wurde dann durch den Niederbruch im Gasterntale bei km 2,675 unterbrochen. Der Stollenvortrieb wurde von Hand bei km 1,203 am 1. Februar 1909 wieder aufgenommen und die mechanische Bohrung bei km 1,368 am 23. Februar 1909; sie dauerte dann ohne Unterbruch fort bis zum Durchschlag bei km 7,353 am 31. März 1911 morgens 4 Uhr. Auf der Südseite wurde die mechanische Bohrung nur im Monat März 1908 wegen dem Lawinenunglück in Goppenstein eingestellt, sonst wurde dieselbe ohne Aufenthalt bis zum Durchschlag bei km 7,182 vom Südportal fortgesetzt.

Von den 8825 m auf der Nordseite ausgebrochenen Sohlstollen wurden 363 m von Hand an 183 Arbeitstagen geleistet und mit Maschinenbohrung 8462 an 1164,5 Arbeitstagen. Eingestellt waren die Stollenarbeiten an 262,5 Tagen, wobei alle Feiertage eingerechnet sind.

Auf der Südseite wurden total 7182 m Sohlstollen aufgefahren, wovon von Hand 202 m in 161 Arbeitstagen und mit mechanischer Bohrung 6980 m an 1373 Arbeitstagen. Der Vortrieb war eingestellt an 77 Tagen. Die ganze Dauer des Sohlstollenvortriebes vom Beginn an den Portalen bis zum Durchschlag beträgt auf der Nordseite 1610 und auf der Südseite 1611 Tage.

Beim Beginn der mechanischen Bohrung gelangten zuerst vertikale Spannsäulen zur Befestigung der Bohrmaschinen zur Anwendung, man befestigt an denselben 2—3 Bohrmaschinen. Mit Inbetriebsetzung der definitiven Installationen wurde der Bohrwagen mit horizontaler Spannsäule eingeführt, an welcher im Maximum 5 Bohrmaschinen befestigt werden können. Die horizontale Spannsäule wurde auf mechanischem Wege an den Stollenulmen verspannt. Der erste Bohrwagen hatte die nämliche Konstruktion wie bei der Brandt'schen Bohrmaschine, die Spannsäule wurde durch ein Schwanzstück mit Gegengewicht ausbalanciert. Der Bohrwagen wurde durch Weglassung dieses Schwanzstückes mit Gegengewicht modifiziert, wodurch derselbe leichter wurde und viel zu dessen grössern Beweglichkeit beitrug, was sich durch eine Zeitersparnis für den Beginn der Bohrungen geltend machte.

Jede Bohrmaschine wird von zwei Mechanikern bedient, einem hinten an der Steuerung für den Vor- und Rücktrieb und einem zweiten vorn zum Ansetzen des Bohrloches und Auswechseln der Bohrer. Vorn genügen jedoch 3 Mann zur Bedienung von 4—5 Bohrmaschinen.

Bei 4 Bohrmaschinen im Gang betrug die erforderliche Belegung eines Postens

| | | |
|---|---|---|
| | 1 | Aufseher |
| | 7—8 | Mechaniker |
| | 8—10 | Schutterer |
| | 1 | Laufbursche |
| Total | 17—20 | Arbeiter. |

Innerhalb 24 Stunden wurde in 3 Posten zu 8 Stunden gearbeitet. Die Arbeit war eine kontinuierliche an Werk- und Sonntagen und wurde nur an den hohen Festtagen ausgesetzt.

Die Bohrer hatten einen Durchmesser von 36—40 mm und bestanden die Kronen aus kreuzformigen Schneiden mit Längen von 55—75 mm. Die Schneiden hatten eine Breite von 15—20 mm und einen Winkel an der Schneidekante von 60—80°. Je nach der Härte des Gesteins wurden kleinere oder grössere Bohrkronen verwendet; mit dem grössten Kaliber wurde das Bohrloch angesetzt und nachher ging man auf die kleinern über, so dass das Bohrloch konisch gebohrt wurde. Im Mittel mussten pro m Bohrloch in Jura und Kreide 0,70 Stück Bohrer ausgewechselt werden, im kristallinischen Schiefer 1,55 und im Granit 2,78 Stück.

Die Bohrer hatten Längen von 60, 120 und 180 cm.

Die Bohrschneiden wurden durch einen Lufthammer mechanisch hergestellt, was die Erstellungskosten erheblich verminderte.

Zum Ausspühlen des Bohrerstaubes aus den Bohrlöchern diente Wasser, das in einer besonderen Leitung vor Ort geführt wurde.

Nach dem Abschiessen der Stollenbrust begann die Schutterung; man machte das Geleise frei, um so schnell wie möglich wieder die Bohrung beginnen zu können. Dies wurde damit

erreicht, dass der Bohrwagen möglichst schmal und leicht gehalten wurde, um durch den seitwärts geschaffenen Schutt ungehindert vor Ort zu gelangen. Während der Bohrung wurde noch weiter von Hand geschuttert. Das Material wurde mit kurzen Schaufeln in Kastenwagen von 2 m³ Inhalt geworfen.

Die Schutterzeit betrug 22 Minuten pro m³, sie war wegen der höhern Gesteinstemperatur auf der Südseite länger wie auf der Nordseite. Die Mechaniker vollführten während der Schutterzeit die erforderlichen Ergänzungsarbeiten, wie Abputzen der Stollenwandungen, Verlegen des Geleises und der Leitungen, Verschieben der Materialwagen.

Auf der Nordseite wurde die Luft für die mechanische Bohrung durch 3 Meyersche zweistufige Zwillingskompressoren auf 10 Atmosphären absolut komprimiert; die Hauptabmessungen und Leistungen sind die folgenden:

| | |
|---|---|
| Kolbenhub | 600 mm |
| Zylinderdurchmesser der ersten Stufe | 760 mm |
| Zylinderdurchmesser der zweiten Stufe | 615 mm |
| Kompression der ersten Stufe | 3 Atmosphären |
| Kompression der zweiten Stufe | 10 Atmosphären |
| Tourenzahl | 110 pro Minute |
| Saugleistung | 56 m³ pro Minute |
| Erforderliche maximale Kraft | 350 PS |
| Volumetrischer Wirkungsgrad | 94 % |
| Mechanischer Wirkungsgrad | 94 % |
| Vor Ort betrug die Luftspannung bis | 7 Atmosphären. |

Auf der Südseite waren drei zweistufige Kompressoren Ingersoll Rand aufgestellt. Die Abmessungen und Leistungen dieser Kompressoren sind die Folgenden:

| | |
|---|---|
| Kolbenhub | 610 mm |
| Cylinderdurchmesser der I. Stufe | 819 mm |
| Cylinderdurchmesser der II. Stufe | 463 mm |
| Kompression der I. Stufe | 2,7 Athmosphären |
| Kompression der II. Stufe | 8,75 Athmosphären |
| Tourenzahl pro Minute | 94 |
| Saugleistung pro Minute | 54,4 m³ |
| Erforderliche Kraft | 350 P. S. |
| Vor Ort betrug der Druck bis | 6,5 Athmosphäre |

Die Leitungen für die komprimierte Luft zur mechanischen Bohrung hatten einen lichten Durchmesser von 169 mm und für das Bohrwasser von 115 mm.

Die Fortschritte des Sohlstollens gehen aus der folgenden Tabelle hervor:

| | | Nordseite | pro Tag | Südseite | pro Tag | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nov. 1906 bis Februar 1907 | m | 128 | 1,10 | 161 | 1,37 | |
| März 1907 bis Februar 1908 | m | 1623 | 4,64 | 1405 | 4,00 | |
| März 1908 bis Februar 1909 | m | 1133 | 6,67 | 1793 | 5,60 | Auf der Nordseite 6 Monate, auf der Südseite 1 Monat eingestellt |
| März 1909 bis Februar 1910 | m | 2736 | 7,82 | 1756 | 5,01 | |
| März 1910 bis Februar 1011 | m | 2972 | 8,49 | 1877 | 5,36 | |
| März 1911 | m | 233 | 7,76 | 190 | 6,33 | Durchschlag am 31. März 1911 |
| | m | 8825 | 6,45 | 7182 | 4,73 | |
| Hievon Handbohrung | m | 363 | | 202 | | |
| Bleibt für mechan. Bohrung | m | 8462 | 7,26 | 6980 | 5,08 | |

Der grösste Fortschritt wurde auf der Nordseite mit 309 m im Monat und auf der Südseite mit 190 m erreicht.

Die Resultate der mechanischen Bohrung sind in der Tabelle I zusammengestellt.

## Ergebnisse der mechanischen Bohrung im Sohlstollen beim Lötschbergtunnel.

Tabelle I.

| | Nordseite | | | Südseite | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kreide und Jura | Granit | Mittel | Kristallinische Schiefer | Granit | Mittel | |
| Fortschritt . . . . . . . m | 4825 | 3637 | 8462 | 3703 | 3277 | 6980 | 15442 |
| Kubatur . . . . . . . . m³ | 29855 | 22817 | 52722 | 21850 | 20252 | 42102 | 94824 |
| Stollenquerschnitt . . . m² | 6,18 | 6,28 | 6,23 | 5,90 | 6,18 | 6,03 | 6,14 |
| Arbeitstage . . . . . . . . | 725,5 | 439 | 1164,5 | 753 | 620 | 1373 | 1268,75 |
| Fortschritt pro Arbeitstag . m | 6,65 | 8,26 | 7,26 | 4,92 | 5,29 | 5,08 | 12,17 |
| Zahl der Angriffe . . . Stck. | 3813 | 2940 | 6753 | 3463 | 2654 | 6117 | 12870 |
| Lochzahl . . . . . . Stck. | 51024 | 45726 | 96750 | 42238 | 38939 | 81177 | 177927 |
| Lochlänge . . . . . . . m | 70549 | 64192 | 134741 | 57968 | 52861 | 110829 | 245570 |
| Dynamitverbrauch . . . kg | 101461 | 94154 | 195615 | 87125 | 86642 | 173767 | 369382 |
| Bohrerverbrauch . . . . Stck. | 51800 | 128993 | 180793 | 89896 | 187351 | 277247 | 458040 |
| Maschinenverbrauch . . . Stck. | 221 | 849 | 1070 | 384 | 576 | 960 | 2030 |
| Maschinen im Gang . . . Stck. | 3,3 | 4,4 | 3,77 | 3,5 | 4,3 | 3,8 | 3,8 |
| Bohrzeit . . . . . . . Stdn. | 6139,7 | 3847,6 | 9987,3 | 6868,0 | 6959,2 | 13827,2 | 23814,5 |
| Schutterzeit . . . . . Stdn. | 10278,5 | 6139,1 | 16417,6 | 10452,2 | 7678,4 | 18130,6 | 34548,2 |
| Verlorene Zeit . . . . Stdn. | 999,1 | 549,3 | 1548,4 | 752,7 | 239,4 | 992,1 | 2540,5 |
| Totale Zeit . . . . . . Stdn. | 17417,3 | 10536,0 | 27953.3 | 18072,9 | 14877,0 | 32949,9 | 60903,2 |
| Angrifflänge . . . . . . m | 1,27 | 1,24 | 1,25 | 1,07 | 1,23 | 1,14 | 1,20 |
| Löcher pro Angriff . . . Stck. | 13,40 | 15,60 | 14,40 | 12,2 | 14,63 | 13,27 | 13,82 |
| Lochlänge pro Angriff . . . m | 18,50 | 21,83 | 20,00 | 16,74 | 19,91 | 18,12 | 19,08 |
| Dynamit pro Angriff . . kg | 26,61 | 32,03 | 28,90 | 25,15 | 32,65 | 28,4 | 28,70 |
| Bohrer pro Angriff . . . Stck. | 13,60 | 43,87 | 26,80 | 26,00 | . 70,60 | 45,3 | 35,60 |
| Bohrzeit pro Angriff . . Stdn. | 1,61 | 1,31 | 1.47 | 1,92 | 2,62 | 2,26 | 1,85 |
| Schutterzeit pro Angriff . Stdn. | 2,70 | 2,08 | 2,43 | 3,02 | 2,89 | 2,97 | 2,68 |
| Totale Zeit pro Angriff . Stdn. | 4,04 | 3,60 | 4,14 | 5,22 | 5,58 | 5,38 | 4,72 |
| Lochlänge . . . . . . . m | 1,38 | 1,40 | 1,39 | 1,37 | 1,36 | 1,36 | 1,38 |
| Dynamit pro Loch . . . kg | 1,99 | 2,06 | 2,02 | 2,06 | 2,22 | 2,14 | 2,04 |
| Bohrer pro Loch . . . . Stck. | 1,01 | 2,82 | 1,87 | 2,13 | 4,83 | 3,41 | 2.57 |
| Bohrer pro m . . . . . Stck. | 0,73 | 2,01 | 1,34 | 1,55 | 3,54 | 5,20 | 1,86 |
| reduziert auf Goppenstein . . | 1,13 | 3,11 | 2,08 | | | | |
| Ein Meter Bohrloch abgebohrt in . . . . . . . . . Stdn. | 0,28 | 0,26 | 0,28 | 0,41 | 0,56 | 0,49 | 0,37 |
| Schutterzeit pro . . . . m³ | 0,34 | 0,27 | 0,31 | 0,48 | 0,38 | 0,43 | 0,36 |
| Eine Bohrmaschine machte m Bohrloch bis zu einer Reparatur | 320 | 71 | 126 | 151 | 92 | 115 | 121 |
| C 2 | 0,757 | 0,768 | 0752 | 0,801 | 0,883 | 0,851 | 0,791 |

Werden die Fortschritte in den verschiedenen Gesteinarten auf denselben Stollenquerschnitt von 6,0 m² und auf 3,8 Stück Bohrmaschinen im Gang reduziert, so erhält man die folgenden Fortschritte pro:

| Arbeitstag | Nordseite | Südseite |
|---|---|---|
| In der Kreide und im Jura . . . . . . . . . . | 7,62 m | — |
| Im kristallinischen Schiefer . . . . . . . . . . . | — | 4,97 m |
| Im Granit . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 7,47 m | 4,65 m |

Im Granit waren die Fortschritte geringer wie im geschichteten Kalkstein und den kristallinischen Schiefern, dagegen ist es auffallend wie gross der Unterschied zwischen der Nord- und Südseite im Granit ist, es kann nicht alles auf das härtere Gestein zurückgeführt werden, obschon auf der Südseite mehr Porphyrgänge im Granit sich vorfanden. Man ist die letzten 3 Monate vor dem Durchschlag, wo beidseitig gleiches Gestein vorhanden war, auf ein ähnliches Resultat gelangt, der Fortschritt betrug auf der Nordseite 7,82, dagegen auf der Südseite 5,93 m.

Die abgebohrte Lochtiefe war auf der Südseite zu gross, wäre diese wie auf der Nordseite genommen worden, so hätte pro Arbeitstag 6,6 m geleistet werden können, oder die Leistung der Nordseite war 15,6 % grösser wie auf der Südseite.

Es kommt das daher, dass auf der Nordseite mit grösserm Arbeitsdruck gearbeitet wurde und die Bohrmaschinen sich besser bewährt haben.

Der Bohrerverbrauch war im gleichen Granit pro m Bohrloch auf der Nordseite 2,21 und auf der Südseite 3,42 Stück oder 55 % grösser. Dieser grössere Bohrerverbrauch auf der Südseite rührt daher, dass die Bohrer nicht so geeignet hergestellt wurden, anderer Bohrstahl zur Verwendung kam und dass mit geringerem Arbeitsdruck gearbeitet wurde.

Will man auf der Nordseite den Bohrerverbrauch auf gleiche Basis wie auf der Südseite bringen, so ist derselbe auf der Nordseite um 55 % zu erhöhen. Es ergibt sich dann, dass die Gesteinshärte sich zwischen Jura und Kreide, dem kristallinischen Schiefer, dem Granit auf der Nordseite und demjenigen auf der Südseite verhält wie 1,13 : 1,55 : 3,11 : 3,54. Auf der Südseite war der zu durchfahrende Granit härter wie auf der Nordseite.

Der Fortschritt pro Arbeitstag erreichte im Mittel am Lötschbergtunnel beidseitig genommen 12,17 m, am Gotthard 6,02 m und am Simplon 10,41 m.

Werden die Fortschritte auf gleicher Basis miteinander verglichen, indem man dieselbe Bohrmaschinenzahl gleichzeitig im Gang, 3,8 Stück, und denselben Stollenquerschnitt von 6,20 m² voraussetzt, so ergeben sich pro Arbeitstag am Lötschbergtunnel 12,29 m, am Gotthard 4,75 m und am Simplon 11,76 m. Wir haben somit am Lötschberg einen Fortschritt von 0,53 m mehr pro Arbeitstag wie am Simplon und 2,5 mal mehr wie am Gotthardtunnel erzielt.

Die Perkussionsbohrmaschinen vom Lötschbergtunnel haben im Mittel pro Arbeitstag im Gasterngranit auf der Nordseite einen Fortschritt von 8,26 m erzielt und am Simplon im Antigoriogneiss von 4,41 m, was auf denselben Stollenquerschnitt und die gleiche Anzahl Bohrmaschinen im Gang am Simplon 5,78 m ergeben würde, es wurden somit am Lötschberg pro Tag 2,48 m mehr erreicht.

Ist es durch Verbesserung der Bohrmaschinen und die Verwendung von wirksamern Sprengmitteln gelungen, die Bohrzeit erheblich zu verkürzen, so ist das bei der Schutterzeit weniger der Fall.

Die Schutterzeit pro m³ Stollenausbruch betrug am Gotthard 34 Minuten, am Simplon 25 Minuten und am Lötschberg 22 Minuten. Man hat dieselbe zwar heruntergebracht, aber nicht aus dem Grunde, weil sie rascher ausgeführt wurde, man liess diese auch noch während der Schutterung fortdauern, was früher nicht geschah. Am Gotthardtunnel waren die Bohrmaschinen auf einem Bohrgestell in drei Reihen übereinander angeordnet, das Bohrgestell mit den Bohrmaschinen hatte eine Breite von 2,0 m und da der Stollen eine solche von nur 2,60 m hatte, so konnte die Bohrung nicht beginnen, bevor die Schutterung vollendet war, da man sonst mit dem Bohrwagen nicht vor Ort gelangen konnte. Am Simplon wurde ebenfalls fertig geschuttert, bevor die Bohrung begann. Am Lötschberg hat man nun bei der grössern Stollenbreite von 3,00 m und der geringern des Bohrwagens noch eine freie Breite von mindestens 1,50 m, was ermöglichte, den Ausbruch seitwärts zur Freihaltung der Geleise aufzuhäufen, um den Bohrwagen vor Ort zu bringen. Während der Bohrung wurde dann noch das zurückgebliebene Material aufgeladen. Da die Bohrzeit eines Angriffes vom Beginn des ersten Bohrloches bis zur Vollendung des letzten gerechnet wird und die Zeit vom Ende einer Bohrung bis zum Beginn der nächsten zur Schutterzeit gezählt wird, so ist dieselbe eigentlich länger, weil sie sich in die Bohrung hinein erstreckt. Es sind daher in den Schutterzeiten pro m³ Ausbruch keine erheblichen Verkürzungen eingetreten. Alle Versuche zur Einführung der mechanischen Schutterung haben sich als zeitraubend erwiesen, man ist auf die Handarbeit ange-

wiesen, die sich besser den Verhältnissen anpasst, nur muss auf eine gute Organisation der Arbeiten bei strenger Aufsicht geschaut werden.

Man sieht ausserdem, welcher Fortschritt in den 40 Jahren seit dem Baue der Gotthardbahn im Stollenvortrieb erzielt wurden. Die Perkussionsbohrmaschinen wurden erheblich verbessert, dass man nunmehr viel grössere Lochdurchmesser abbohren kann von 55 bis 75 mm gegen 40—50 mm am Gotthard. Die Verbesserungen der Bohrmaschinen sind darin zu suchen, dass man das Umsetzen des Kolbens in diesen verlegte und den Vorschub der Maschine geringer hielt, es erlaubte das, das Gewicht des Gestänges zu vermindern und am Kolben zu vergrössern, dadurch wird das Schlaggewicht im Kolben konzentriert und erreicht zudem durch die grössere Hublänge eine grössere Schlagwirkung, wobei die Reibungen erheblich herabgemindert werden.

Am Lötschbergtunnel wurden nun, um über die mechanische Bohrung genauere Daten zu haben, von km 0,400 an bis zum Durchschlag alle Wochen einmal auf jeder Seite alle erforderlichen Aufzeichnungen über Bohrlochlänge, Ladelänge, Bohrzeit, Zahl der verbrauchten Bohrer des Dynamites, Schlagzahl der Maschinen etc. pro Attacke gemacht.

*Werden die Resultate auf den Stollenquerschnitt von 6,20 m² reduziert,* so ist ein Bohrloch auf 0,46—0,39 m² Stollenfläche erforderlich. Die Lochzahl und die Lochtiefe stehen in einer gewissen Beziehung bei den verschiedenen Gesteinshärten für einen bestimmten Stollenquerschnitt. Um diese Beziehungen festzustellen geht man von der Annahme aus, dass die Lochlänge eine Konstante ist und dass je nach der Gesteinshärte die Lochtiefe zu ändern ist, wobei man wieder davon ausging, dass der Nutzeffekt der günstigste ist, je geringer die Länge der Bohrsäcke war. Die konstante Lochlänge für 6,20 m² Stollenquerschnitt beträgt 19 m. Es ergibt sich, dass je nach der Gesteinshärte gleich dem Bohrerverbrauch pro m Bohrloch gesetzt und nach ½ Stücken Verbrauch abgestuft, die Bohrlochtiefe von 1,42 m bei ½ Stück Bohrerverbrauch bis 1,20 m bei einem solchen von 4,5 Stück pro m Bohrloch abnimmt. Daraus ergibt sich die Lochzahl. Der Dynamitverbrauch nimmt mit der Gesteinshärte zu und steigt von 3,24 kg bis 4,72 kg pro m³, wobei die Ladetiefe zunimmt.

Die Bohrmaschinen machten je nach dem Arbeitsdruck pro Minute eine verschiedene Schlagzahl, auf der Nordseite bei 7 Atmosphären Druck 342 und auf der Südseite für 6 Atmosphären 366.

Der Fortschritt pro Schlag betrug auf der Nordseite 0,26—0,32 mm und auf der Südseite 0,11—0,17 mm.

## Bohrtabelle der Nordseite

Tabelle II.

**auf einen Stollenquerschnitt von 6,20 m² reduziert.**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stollenquerschnitt . . . . . | m² | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | |
| Bohrerverbrauch pro m Bohrloch | Stck. | 0,57 | 1,00 | 1,98 | 2,73 | 3,31 | 3,93 | |
| Bohrlöcher pro Angriff . . . | Stck. | 14,10 | 14,00 | 14,00 | 14,40 | 16,40 | 15,40 | |
| Bohrlochlänge pro Angriff . . | m | 21,85 | 19,20 | 18,20 | 19,00 | 21,90 | 20,80 | |
| Mittlere Bohrlochlänge . . . . | m | 1,55 | 1,37 | 1,30 | 1,32 | 1,33 | 1,35 | t |
| Mittlerer Fortschritt pro Angriff | m | 1,40 | 1,29 | 1,26 | 1,22 | 1,24 | 1,26 | |
| Bohrsäcke pro Bohrloch . . . | m | 0,15 | 0,08 | 0,04 | 0,10 | 0,09 | 0,09 | |
| Dynamit pro Bohrloch . . . . | kg | 2,22 | 2,13 | 2,12 | 2,04 | 2,06 | 2,42 | d |
| Dynamit pro m³ . . . . . . | kg | 3,60 | 3,73 | 3,80 | 3,90 | 4,39 | 4,77 | |
| Inhalt des Bohrloches . . . . | cm³ | 4386 | 3877 | 3679 | 3735 | 3763 | 3821 | i |
| Inhalt der Ladung . . . . . | cm³ | 1480 | 1430 | 1413 | 1360 | 1373 | 1613 | q |
| Länge der Ladung . . . . . | cm | 75 | 73 | 72 | 70 | 70 | 82 | |
| Verhältnis q/i . . . . . . . . | | 0,337 | 0,370 | 0,384 | 0,364 | 0,365 | 0,422 | |
| Konstante . . . . . . . . . | c | 0,596 | 0,828 | 0,943 | 0,887 | 0,878 | 0,984 | $c = \frac{d}{t^3}$ |
| Ein m Bohrloch abgebohrt in Minuten | | 12,2 | 16,6 | 18,0 | 16,8 | 16,2 | 15,0 | |

## Bohrtabelle der Südseite

Tabelle III.

**auf einen Stollenquerschnitt von 6,20 $m^2$ reduziert.**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stollenquerschnitt . . . . . . $m^2$ | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | |
| Bohrerverbrauch pro m Bohrloch Stck. | 0,74 | 1,26 | 1,77 | 2,24 | 2,80 | 3,26 | 3,75 | 4,29 | |
| Bohrlöcher pro Angriff . . . . Stck. | 12,8 | 11,7 | 11,7 | 14,1 | 13,7 | 14,2 | 14,3 | 14,1 | |
| Bohrlochlänge pro Angriff . . . . m | 17,5 | 15,8 | 15,0 | 19,2 | 18,2 | 19,4 | 21,0 | 18,3 | |
| Mittlere Bohrlochlänge . . . . . m | 1,37 | 1,35 | 1,28 | 1,36 | 1,33 | 1,36 | 1,47 | 1,30 | t |
| Mittlerer Fortschritt pro Angriff . m | 1,09 | 1,13 | 1,03 | 1,23 | 1,12 | 1,23 | 1,20 | 1,10 | |
| Bohrsäcke pro Bohrloch . . . . m | 0,28 | 0,22 | 0,25 | 0,13 | 0,21 | 0,13 | 0,27 | 0,20 | |
| Dynamit pro Bohrloch . . . . kg | 2,27 | 1,95 | 2,03 | 2,22 | 2,35 | 2,32 | 2,30 | 2,00 | d |
| Dynamit pro $m^3$ . . . . . . kg | 4,49 | 3,60 | 3,71 | 4,10 | 4,60 | 4,32 | 4,42 | 4,14 | |
| Inhalt des Bohrloches . . . . $cm^3$ | 3877 | 3822 | 3622 | 3848 | 3764 | 3848 | 4160 | 3679 | i |
| Inhalt der Ladung . . . . . $cm^3$ | 1587 | 1300 | 1353 | 1480 | 1566 | 1547 | 1533 | 1333 | q |
| Länge der Ladung . . . . . cm | 81 | 66 | 69 | 76 | 80 | 79 | 78 | 70 | |
| Verhältnis q/i . . . . . . . . | 0,409 | 0,340 | 0,373 | 0,390 | 0,416 | 0,402 | 0,369 | 0,362 | |
| Konstante . . . . . . . . . . c | 0,922 | 0,811 | 0,968 | 0,883 | 0,999 | 0,922 | 0,708 | 0,910 | $C=\frac{d}{t^3}$ |
| Ein m Bohrloch abgebohrt in Minuten | 15,0 | 18,6 | 21,0 | 25,8 | 43,2 | 34,2 | 36,6 | 46,2 | |

Die Ergebnisse sind in den Tabellen II und III zusammengefasst, wobei man davon ausging, die Daten nach dem Bohrerverbrauch pro m Bohrloch aufzustellen. Die bisherigen Angaben, die für die verschiedenen Gesteinsarten zusammengestellt wurden, geben keine richtigen Anhaltspunkte über den Nutzeffekt der Bohrungen, denn es wird in den verschiedenen Tunneln dasselbe Gestein wohl kaum dieselbe Beschaffenheit aufweisen, dagegen gibt der Bohrerverbrauch pro m einen bessern Masstab zur Schätzung des Einflusses der Gesteinsbeschaffenheit auf die Bohrungen, natürlich sind auch die Lage der Schichtung und die Schichtenstärken von Einfluss, deren Bewertung aber kaum genau festzustellen ist.

Es ist ohne Weiteres klar, dass man hier kein Gesetz über die Beziehung der Lochtiefe zur Lochzahl aufstellen kann, da wir uns selten im kompakten Gebirge befinden, sondern dasselbe ist durch die Schichtung unterbrochen und die Richtung sowie die Stärke der einzelnen Schichten können die gesamte Lochlänge pro Angriff um den günstigsten Nutzeffekt zu erreichen, modifizieren. Die Wirkung der Sprengschüsse ist die günstigste, wenn die Löcher senkrecht zur Schichtung abgebohrt werden können nnd hiebei deren Richtung auch von der Senkrechten zur Attackenbrust nicht stark abweicht. Der Einfluss der Schichtungsrichtung lässt sich kaum feststellen, ebenso derjenige der Schichtenstärke, da viel zu viel von der Richtung der Bohrlöcher und der Verteilung derselben in der Stollenbrust abhängt. Hier haben die praktischen Erfahrungen zu entscheiden, indem sie sich den bisher gefundenen Resultaten anzupassen suchen.

## Bohrtabelle.

Tabelle IV.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Stollenquerschnitt . . . $m^2$ | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | 6,20 | |
| Bohrerverbrauch pro m Bohrloch Stk. | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | |
| Bohrlöcher pro Angriff . Stk. | 13,4 | 14,2 | 14,4 | 14,7 | 14,8 | 15,0 | 15,3 | 15,6 | 15,8 | |
| Bohrlochlänge pro Angriff m | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | |
| Mittlere Bohrlochlänge . m | 1,42 | 1,34 | 1,32 | 1,30 | 1,28 | 1,26 | 1,24 | 1,22 | 1,20 | t |
| Dynamit pro Bohrloch . . kg | 2,27 | 2,11 | 2,14 | 2,15 | 2,17 | 2,18 | 2,20 | 2,20 | 2,20 | d |
| Dynamit pro $m^3$ . . . . kg | 3,46 | 3,61 | 3,76 | 3,91 | 4,06 | 4,21 | 4,36 | 4,51 | 4,66 | |
| Inhalt des Bohrloches . . $cm^3$ | 4019 | 3792 | 3738 | 3681 | 3624 | 3567 | 3510 | 3453 | 3396 | i |
| Inhalt der Ladung . . . $cm^3$ | 1513 | 1407 | 1427 | 1433 | 1447 | 1453 | 1467 | 1467 | 1467 | q |
| Länge der Ladung . . . cm | 77 | 72 | 73 | 73 | 74 | 74 | 75 | 75 | 75 | |
| Verhältnis q/i . . . . . | 0,376 | 0,371 | 0,379 | 0,389 | 0,400 | 0,407 | 0,418 | 0,425 | 0,432 | |
| Konstante c. . . . . . | 0,775 | 0,877 | 0,930 | 0,956 | 1,034 | 1,090 | 1,154 | 1,212 | 1,273 | c |

Das erschlossene Gestein war von Norden nach Süden ohne in die Einzelheiten einzugehen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gehängeschutt und Bergsturzmaterial . . . . . . . . . . | km | 0,000— 0,080 = | 80 m |
| Berriasschiefer, untere Kreide, dünngeschichtet . . . . . . | km | 0,080— 1,510 = | 1430 m |
| Malm, oberer Jura, homogen gleichmässig geschiefert . . . | km | 1,510— 3,480 = | 1970 m |
| Quarzit, Dolomit, Rauhwacke, Gyps, Trias . . . . . . . . | km | 3,480— 3,550 = | 70 m |
| Schwarzer Tonschiefer mit Quarzsandstein, Karbon . . . . | km | 3,550— 3,750 = | 200 m |
| Anhydrit, Gyps, Dolomit, Tonschiefer, Trias . . . . . . . | km | 3,750— 3,970 = | 220 m |
| Granit, Biotit, Chloritfelsen, Quarzporphyr . . . . . . . . | km | 3,970—10,960 = | 6990 m |
| Anhydrit, Dolomit, Quarzit, Trias und Jura . . . . . . . . | km | 10,960—11,240 = | 280 m |
| Kristallinische Schieferhülle . . . . . . . . . . . . . . | km | 11,240—14,500 = | 3260 m |
| Bergschutt . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | km | 14,500—14,536 = | 35 m |
| | | | 14,535 m |

Das Streichen der Schichten betrug durchschnittlich N 50—80° E, nahm zwischen 2,200 bis 4,000 auf N 15° E ab. Das Fallen war am Nordportal 20° südlich, wechselte stark zwischen südlich und nördlich, um bei km 3,480 15° nördlich zu verlaufen. In der Kontaktzone km 3,480—3,970 war das Einfallen ganz unregelmässig, weil der Schichtenbau hier durch die Gebirgsschiebung am meisten zu leiden hatte. In der Granitzone betrug das Einfallen 30° nördlich bis senkrecht und 50° südlich, was sich in der südlichen Schieferzone fortsetzte, deren südliches Einfallen vom Südportal gegen das Zentralmassiv sich abflacht.

Auf beiden Seiten im Tunnel wurde an 1269 Arbeitstagen 15,442 m Sohlstollen aufgefahren, was pro Arbeitstag 12,17 m ergibt.

Es wurden 12870 Angriffe ausgeführt oder pro Angriff ein Fortschritt von 1,20 m erzielt.

Die mittlere Dauer einer Attacke betrug 4 Std. 43 Min. wobei für die Bohrung 1 Stunde 51 Minuten und die Schutterung 2 Stunden 41 Minuten aufgewendet wurden.

Pro Angriff wurden 13,8 Stück Bohrloch von 19,08 m Lochlänge abgebohrt und die mittlere Lochlänge erreicht 1,38 m. — Es wurden pro Bohrloch 2,57 Stück Bohrer ausgewechselt oder pro m Bohrloch 1,86 Stück und pro Bohrloch 2,04 kg Dynamit gebraucht.

Für den m³ Stollenausbruch waren 3,90 kg Dynamit erforderlich und wurden 4,83 Stück Bohrer ausgewechselt. — Ein Meter Bohrloch wurde in 22 Minuten abgebohrt und zur Schutterung von 1 m³ Ausbruch waren 22 Minuten erforderlich.

Im Mittel waren 3,80 Stück Bohrmaschinen im Gange und konnte eine Bohrmaschine 121 m Bohrloch, bevor sie ausgewechselt werden musste, abbohren.

Die Bohrmaschinen weisen folgende Leistungen auf: Tabelle V.

| | | **Nordseite** Meyer | | **Südseite** Ingersoll Rand | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Jura und Kreide** | **Granit** | **Kristall. Schiefer** | **Granit** |
| Bohrzeit pro Angriff . . . . . . | M. | 96,6 | 78,6 | 115,2 | 157,2 |
| Lochzahl pro Angriff . . . . . . | St. | 13,4 | 15,6 | 12,2 | 14,6 |
| Bohrerverbrauch pro Angriff . . . | St. | 13,5 | 44,0 | 26,0 | 70,5 |
| Bohrzeit pro Maschine . . . . . | M. | 318,8 | 345,8 | 403,2 | 676,0 |
| Zeit zum Bohrerauswechseln . . . | M. | 27,0 | 88,0 | 52,0 | 141,0 |
| Zeit zum Ansetzen des Bohrloches . | M. | 53,6 | 62,4 | 48,8 | 58,8 |
| Reine Bohrzeit . . . . . . . . . | M. | 238,2 | 195,4 | 302,4 | 476,2 |
| Abgebohrte Lochlänge . . . . . . | m | 18,5 | 21,8 | 16,7 | 19,9 |
| Reine Bohrzeit pro m Bohrloch . . | M. | 12,9 | 9,0 | 18,1 | 24,0 |
| Arbeitsdruck Atmosphären absolut . . . | | 6 | 7 | 5 | 6 |
| Hubzahl pro m . . . . . . . . . . | | 300 | 342 | 320 | 366 |
| Hubzahl pro m Bohrloch . . . . . . | | 3870 | 3078 | 5790 | 8784 |
| Fortschritt pro Hub . . . . . . . | mm | 0,26 | 0,32 | 0,17 | 0,11 |

Die Bohrmaschinen mit grösserer Hublänge und geringerer Schlagzahl haben grössere Fortschritte ergeben, wie solche mit geringerer Hublänge und grösserer Schlagzahl. Dabei war bei der Meyerschen Maschine der Fortschritt im härtern Gestein grösser wie im weniger harten, wobei aber auch mit grösserm Druck gearbeitet wurde.

Die Leistungen der einzelnen Maschinen sind in der Tabelle VI enthalten.

Tabelle VI.

| | Meyersche Perkussions-Bohrmaschine | | | | Ingersoll-Rand Perkussions-Bohrmaschine | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gewicht der Maschine . . . . . . kg | 188 | — | — | — | 170 | — | — | — |
| Druck in Atmosphären . . . . . absolut | 4 | 5 | 6 | 7 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Kolbendurchmesser . . . . . . . mm | 90 | — | — | — | 92 | — | — | — |
| Hub des Kolbens . . . . . . . . mm | 280 | — | — | — | 190 | — | — | — |
| Bohrerschaft des Kolbens, Durchmesser mm | 60 | — | — | — | 45 | — | — | — |
| Bohrspindel . . . . . Durchmesser mm | 46 | — | — | — | 40 | — | — | — |
| Fläche des Kolbens . . . . Vortrieb cm² | 46 | — | — | — | 59 | — | — | — |
| Fläche des Kolbens . . . Rücktrieb cm² | 35,4 | — | — | — | 54,4 | — | — | — |
| Kraft für den Vortrieb $P_1$ . . . . kg | 142 | 190 | 237 | 285 | 183 | 244 | 305 | 366 |
| Kraft für den Rücktrieb $P_2$ . . . . kg | 108 | 145 | 182 | 219 | 169 | 225 | 281 | 337 |
| Arbeit für den Vortrieb $A_1$ . . . . mkg | 40 | 53 | 66 | 88 | 35 | 46 | 58 | 69 |
| Arbeit für den Rücktrieb $A_2$ . . . mkg | 30 | 41 | 51 | 61 | 32 | 43 | 53 | 64 |
| Totale Arbeit A . . . . . . . . . mkg | 70 | 94 | 117 | 149 | 67 | 89 | 111 | 133 |
| Beschleunigung des Kolbens, Vortrieb $q_1$ m | 43,6 | 58,3 | 72,8 | 87,5 | 60,3 | 80,5 | 100,5 | 120,7 |
| » » » Rückzug $q_2$ m | 33,2 | 44,5 | 55,9 | 67,2 | 55,8 | 74,2 | 92,7 | 111,2 |
| Endgeschwindigkeit beim Vortrieb . . $v_1$ m | 4,92 | 5,72 | 6,40 | 7,01 | 4,82 | 5,56 | 6,21 | 6,81 |
| » » Rückzug . . $v_2$ m | 4,32 | 5,00 | 5,71 | 6,25 | 4,63 | 5,34 | 5,97 | 6,53 |
| Zeit für den Vorstoss $t_1$ . . . . . sek. | 0,112 | 0,098 | 0,088 | 0,080 | 0,080 | 0,069 | 0,062 | 0,056 |
| Zeit für den Rückstoss $t_2$ . . . . . sek. | 0,131 | 0,112 | 0,100 | 0,093 | 0,083 | 0,072 | 0,064 | 0,059 |
| Zeit für Vor- und Rückstoss t . . . sek. | 0,243 | 0,210 | 0,188 | 0,173 | 0,163 | 0,141 | 0,126 | 0,115 |
| Theoretische Schlagzahl pro Minute . . . | 247 | 286 | 320 | 347 | 368 | 426 | 476 | 530 |
| Wirkliche Schlagzahl . . . . . . . . . | — | — | — | 342 | 280 | 320 | 366 | 430 |
| Luftverbrauch pro Doppelhub . . . lit. | 2,70 | — | — | — | 1,90 | — | — | — |
| Theoretische Arbeitsleistung . . . . mkg | 290 | 448 | 623 | 861 | 411 | 641 | 888 | 1174 |

Bei der mechanischen Bohrung wurden auf der Nordseite 52722 m³ Sohlstollen ausgebrochen und auf der Südseite 42102 m³, total 94824 m³ auf eine Länge von 15442 m. Der gesamte Stollenausbruch erreichte auf der Nordseite 45810 m³ und auf der Südseite 43970 m³, total 89780 m³ auf eine Tunnellänge von 14435 m.

Der Schichtenaufwand betrug bei der mechanischen Bohrung auf der Nordseite 46179, was pro lauf. Meter 6,6 Schichten und pro m³ Ausbruch 1,6 ergibt. Auf der Südseite erreichte der Schichtenaufwand 77501, was pro lauf. Meter 11,1 und pro m³ 1,84 Schichten ergibt.

Das Mittel für den ganzen Tunnel beträgt pro lauf. Meter Sohlstollen der mechanischen Bohrung 8,64 Schichten und pro m³ Ausbruch 1,41.

Bei der Handbohrung wurden auf der Nordseite pro m Sohlstollen 21,1 und auf der Südseite 21,8 Schichten aufgewendet.

Es ergibt sich auch hier, dass die Schutterzeit eine Stunde länger dauerte wie die Bohrzeit einer Attacke. Die Schutterzeit konnte abgekürzt werden, weil auch während der Bohrung geschuttert wurde. In der Bohrzeit wurden gegenüber frühern mechanischen Stollenvortrieben in unsern Alpentunneln erhebliche Verkürzungen erreicht, dagegen nur geringe in der Schutterzeit.

Durch die Verwendung von Bohrhämmern gelangt man nun dazu, während der Bohrarbeit gleichzeitig die Schutterung vorzunehmen, wodurch die Stollenfortschritte noch weiter ge-

steigert werden können. Immerhin bildet der Bohrstaub bei den Bohrhämmern eine grosse Belästigung für die Arbeiter und wird deren Leistungsfähigkeit mehr wie bei den Bohrmaschinen in Anspruch genommen. Es sollte noch ein Mittel gefunden werden, durch Wasser-Bespühlung des Bohrloches den Bohrstaub zurückzuhalten.

## 2. Vollausbruch.

Dem Stollenvortrieb folgte der Vollausbruch.

Die Vollausbrucharbeiten blieben zurück, weil man die Entscheidung abzuwarten hatte, ob der Tunnel ein- oder zweigeleisig zu erstellen sei, welche im September 1907, also ein Jahr nach Beginn der Arbeit erfolgte.

Der Vollausbruch wurde mit dem Firststollen begonnen, auf der Nordseite wurde dieser aber von den 7535 m Länge nur auf 459 m von Hand getrieben, die bei weitem grössere Länge von 7076 m wurde vom Sohlstollen aus durch Aufschlitzen ausgebrochen. Auf der Südseite wurden von den 7000 m Firststollen 515 m von Hand, 5295 m mit mechanischer Bohrung von verschiedenen Attacken aus und 1190 m durch Aufschlitzen vom Sohlstollen mit mechanischer Bohrung ausgebrochen.

Auf der Südseite wurde das Stück vom Vertragsportal auf 42 m offen als Tagbau ausgehoben.

Nach dem Durchschlag des Sohlstollens wurde beidseitig der Vollausbruch durch Aufschlitzen begonnen, wobei man zuerst vom Sohlstollen aus mittelst mechanischer Bohrung auf zirka 400 m Länge denselben auf 1,20 m auffirstete und hierauf folgte der Schlitz bis zur Tunnelfirst.

Bei der Aufschlitzmethode werden alle 50 m Kamine erstellt und folgt der Vollausbruch, nachdem der Schlitz die First erreicht hat. Wird der Firsstollen getrieben, so kommt zuerst die Calotte zum Abbruch und folgen die beiden Strossen.

Zu Beginn der Arbeiten wurde grösstenteils von Hand ausgebrochen, mit deren Fortschritt nahm aber die mechanische Bohrung immer zu bis zum Schlusse der Arbeiten die Handbohrung nur noch ganz ausnahmsweise angewendet wurde. Es waren im Vollausbruch 30—40 Stück Bohrmaschinen und Bohrhämmer in Betrieb, womit eine grosse Ersparnis des Schichtenaufwandes erzielt wurde. Die Leistungen des Vollausbruches, wobei der Firststollen, die Stollenerweiterungen für die Ausweichen und der Ausbruch des Tunnelkanals inbegriffen sind, werden aus der folgenden Zusammenstellung ersichtlich.

| | | Nordseite | Südseite | Total |
|---|---|---|---|---|
| Firststollen Länge | m | 7536 | 7000 | 14535 |
| Vollausbruch Länge | m | 7677 | 6828 | 14535 |
| Ausbruch Firststollen | $m^3$ | 30142 | 23835 | 53977 |
| Ausbruch Stollenerweiterung | $m^3$ | 19135 | 7854 | 26989 |
| Ausbruch Vollausbruch | $m^3$ | 348383 | 317729 | 666112 |
| Gesamter Ausbruch (ohne Sohlstollen) | $m^3$ | 397660 | 349418 | 747078 |
| Schichtenaufwand Firststollen | | 35521 | 71908 | 107429 |
| » Stollenerweiterung | | 44053 | 28990 | 73043 |
| » Vollausbruch | | 593406 | 996543 | 1589949 |
| » gesamter (ohne Sohlstollen) | | 672980 | 1097441 | 1770421 |
| Schichten pro m Firststollen | | 4,70 | 10,3 | 7,4 |
| » » » Vollausbruch | | 77,3 | 145,3 | 109,4 |
| » » » gesamten Tunnelausbruch (ohne Sohlstollen) | | 88,0 | 159,7 | 121,8 |
| » » $m^3$ Firststollen | | 1,17 | 3,01 | 1,99 |
| » » » Vollausbruch | | 1,72 | 3,14 | 2,39 |
| » » » gesamten Ausbruch (ohne Sohlstollen) | | 1,69 | 3,14 | 2,37 |
| Sprengmittelverbrauch beim Firststollen | | 27274 | 84614 | 111888 |
| » beim Vollausbruch | | 191075 | 270271 | 461346 |
| » beim gesamten Ausbruch (ohne Sohlstollen) | | 230067 | 361469 | 591536 |

| | Nordseite | Südseite | Total |
|---|---|---|---|
| Bohrerverbrauch beim Firststollen . . . . . . . . . . | 100217 | 176788 | 277005 |
| Bohrerverbrauch beim Vollausbruch . . . . . . . . . | 908815 | 2622793 | 3531608 |
| Bohrerverbrauch beim gesamten Ausbruch (ohne Sohlstollen) | 1064889 | 2896376 | 3961265 |
| Dynamitverbrauch pro m³ Firststollen . . . . . . . . | 0,81 | 3,50 | 2,07 |
| » » » Vollausbruch . . . . . . . . | 0,55 | 0,85 | 0,73 |
| » » » Ausbruch (ohne Sohlstollen) . | 0,60 | 1,04 | 0,80 |
| Bohrerverbrauch pro m³ Firststollen . . . . . . . . | 3,3 | 7,42 | 5,13 |
| » » » Vollausbruch . . . . . . . . | 2,62 | 8,26 | 5,63 |
| » » » gesamten Ausbruch (ohne Sohlstollen) . | 2,69 | 8,32 | 5,32 |

Die Fortschritte beim Vollausbruch erreichten:

| | Nordseite | Südseite | Total |
|---|---|---|---|
| März 1907 bis Februar 1908 . . | 232 m | 77 m | 309 m |
| März 1908 bis Februar 1909 . . | 988 m | 865 m | 1853 m |
| März 1909 bis Februar 1910 . . | 1862 m | 1770 m | 3632 m |
| März 1910 bis Februar 1911 . . | 1992 m | 2137 m | 4129 m |
| März 1911 bis Februar 1912 . . | 2558 m | 2009 m | 4567 m |
| März 1912 bis Februar 1913 . . | 45 m | — | 45 m |
| | 7677 m | 6858 m | 14535 m |

Der Firststollen wurde auf der Nordseite am 10. Juni 1907, auf der Südseite am 9. August 1907 begonnen. Derselbe war auf der Nordseite im Januar 1912 bis 7535 ausgebrochen und auf der Südseite wurde derselbe im Dezember 1911 auf 7000 m vollendet.

Der Vollausbruch wurde auf der Nordseite am 1. September 1907 und auf der Südseite am 1. Dezember 1907 begonnen. Vollendet war der Vollausbruch am 31. März 1912.

Die maximale Leistung des Vollausbruchs betrug monatlich auf der Nordseite 295 m und auf der Südseite 277 m.

Die verwendeten Sprengmittel waren im Sohlstollen Dynamit mit 93 % Nitroglycerin-Gelatine, im Vollausbruch Westphalit und Telsit.

Der gesamte Vollausbruch beträgt 747078 m³, was einen mittleren Querschnitt von 51,40 m² ergibt, und wird der Sohlstollenquerschnitt mit 6,17 m² hinzugefügt, so erhält man ein mittleres Ausbruchsprofil von 57,57 m². Hiebei kommen 60071 m³ auf den Mehrausbruch oder 8,1 % vom gesamten Vollausbruch. Der reine Diagrammquerschnitt pro m Tunnel beträgt 53,44 m². Der Mehrausbruch erreichte auf der Nordseite 9,5 % des Diagrammquerschnittes vom Vollausbruch und auf der Südseite 8,6 %. Auf der Nordseite erforderte der m³ Vollausbruch 1,4 m Bohrloch und auf der Südseite 1,74 m; der Bohrerverbrauch betrug pro m Bohrloch auf der Nordseite 1,9 Stück und auf der Südseite 4,9 Stück.

Wegen der grössern Gesteinshärte erforderte die Südseite 40 % mehr Schichten als die Nordseite; der Rest fällt auf die höhern Gesteinstemperaturen und die Ausbruchsmethode.

Hiebei ist zu bemerken, dass auf der Südseite die Abteufung der bis 1,20 m zu hohen Sohle vom Portal bis km 1,650 auf die Vollausbrucharbeiten einen ungünstigen Einfluss hatte und deren Kosten 20 % erhöhte, was auf die totalen Vollausbrucharbeiten reduziert eine Vermehrung der Kosten von 3 % ergibt.

Die Leistungen im Vollausbruch steigerten sich von Jahr zu Jahr und erreichten das Maximum nach dem Durchschlag, weil der Transport des Ausbruches vom Sohlstollen nicht mehr die Arbeiten im Vollausbruch hinderte.

Der Vollausbruch war genau ein Jahr nach dem Durchschlag des Sohlstollens vollendet. Hätte der Vollausbruch in normaler Weise begonnen werden können und nicht erst, nachdem der Sohlstollen auf 1981 m vorgetrieben war, so wären die Vollendungsarbeiten 8 Monate nach dem Durchschlag des Sohlstollens oder 4 Monate früher vollendet gewesen.

Für den Wasserablauf wurde ein provisorischer Kanal auf der einen Stollenseite ausgesprengt.

Der definitive Kanal wurde erst nach Vollendung der Verkleidung ausgebrochen und gemauert.

Als Einbau wurde in den Druckstrecken das Zentralstrebensystem mit Brustschwellen bei 10—12 Kronbalken angewendet, sonst hatte man meistens Deckensicherungseinbau mit 6 Kronbalken auszuführen.

In den kristallinischen Schiefern und dem Gasterngranit wurde nur eine Deckenversicherung ausgeführt, auf der Südseite wurden von den 6853 m nur 400 m des Vollausbruches eingebaut.

## II. Mauerungsarbeiten.

### 1. Tunnelmauerung.

Dem Vollausbruch folgte die Tunnelmauerung, welche mit den Widerlagern begann und mit den Deckengewölben abschloss. In den Strecken mit Sohlenverkleidung wurde diese nach Schluss der Deckengewölbe ausgeführt. Die Mauerung geschah ringweise, die Ringlänge schwankte zwischen 4—10 m, je nach den Druckverhältnissen; im ganzen wurden 1672 Ringe erstellt.

Die zur Ausführung gelangten Tunneltypen sind die folgenden:

| Profil | | m | |
|---|---|---|---|
| Profil | 1 | m 11344 | Gewölbe 0,40 m stark, dabei 150 m mit Widerlager Prof. 2 |
| » | 1a | m 2037 | Sohlenverkleidung 0,10 m stark |
| » | 1c | m 28 | Sohlenverkleidung 0,40 m stark |
| » | 2 | m 367 | Deckengewölbe 0.50 m stark |
| » | 2a | m 187 | Sohlenverkleidung 0,10 m stark |
| » | 2c | m 124 | Sohlenverkleidung 0,40 m stark |
| » | 3 | m 163 | Deckengewölbe 0,60 m stark |
| » | 3a | m 9 | Sohlenverkleidung 0,10 m stark |
| » | 3c | m 279 | Sohlenverkleidung 0,50 m stark |
| » | 4c | m 4 | Deckengewölbe 0,70 m, Sohlenverkleidung 0,60 m stark |
| » | 5c | m 23 | Deckengewölbe 0,80, Sohlengewölbe 0,70 m stark |
| | Total | 14535 m. | |

Eine Sohlenverkleidung wurde auf 2691 m ausgeführt.

Die Mauerungskubaturen betragen:

| | Nordseite | | Südseite | | Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | m | m³ | m | m³ | m | m³ |
| Widerlager . . . . . . . . . . . . | 7875 | 46290 | 6660 | 37041 | 14535 | 83331 |
| Deckengewölbe . . . . . . . . . . . | 8025 | 53325 | 5610 | 40528 | 14535 | 93853 |
| Sohlenverkleidung . . . . . . . . . | 523 | 1933 | 2138 | 1668 | 2661 | 3601 |
| Tunnelkanal . . . . . . . . . . . . | 8025 | 3096 | 6510 | 2661 | 14535 | 5757 |
| Total Mauerwerk . . . . . . . . . | m³ | 104644 | | 81898 | 14535 | 186542 |
| Hievon Mehrmauerwerk . . . . . . . | m³ | 35498 | | 24506 | | 60004 |
| Bleibt Diagramm Mauerwerk . . . . . | m³ | 69146 | | 57392 | | 126538 |

| | | im Diagramm | ausserhalb | Total |
|---|---|---|---|---|
| Der mittlere Querschnitt der Widerlager beträgt . . . . | m² | 3,97 | 1,76 | 5,73 |
| » » » des Deckengewölbes beträgt . . | m² | 4,10 | 2,36 | 6,46 |
| » » » der Sohlenverkleidung beträgt . | m² | 0,24 | 0,00 | 0,24 |
| » » » des Kanals beträgt . . . . . . | m² | 0,39 | 0,01 | 0,40 |
| » » » des ganzen Mauerwerks beträgt . | m² | 8,70 | 4,13 | 12,83 |
| » » » der Sohlenverkleidung ist . . . | m² | 1,05 | 0,30 | 1,35 |

Der Tunnelkanal hat einen lichten Querschnitt von 0,48 m² zwischen Nordportal bis km 2,800, von 0,36 m² von km 2,800 bis km 4,575, von 0,16 m² von km 4,575 bis km 10,445 und von 0,36 m² von km 10,445 bis Südportal. Die Widerlager wurden bis auf Schwellenhöhe betoniert und von hier aus gewöhnlichem Bruchsteinmauerwerk aufgemauert, die Sichtfläche wurde besonders zugerichtet. Das Deckengewölbe bestand aus Spitzsteinen von 0,25 Minimal-

stärke und hatten die Binder im Minimum 0,40 m, bei den grösseren Gewölbestärken wie 0,40 m mussten die Binder 0,50 m Stärke haben, die Stossflächen waren auf 20 cm senkrecht von der Sichtfläche gearbeitet. Die Verkeidung wurde überall satt an den Felsen gemauert, zum Ablauf des Wassers dienten Kanäle, die hinter der Mauerung bis zum Felsen auf 20 cm Breite offen gelassen wurden und das Wasser auf Schwellenhöhe durch Schlitze in den Tunnel abführten. Bei konzentrierten Quellen wurden diese durch kleine Kanälchen in den Tunnelkanal auf der Sohle abgeleitet.

Das Steinmaterial der Nordseite wurde teilweise neben dem Portal und hauptsächlich in Bütschels aus den Kalksteinblöcken vom Fisischafberg gewonnen. Es ist Malmkalk, welcher eine Druckfestigkeit von 1530 kg/cm² erreichte und als ausgezeichnetes Baumaterial gehalten werden kann. Auf der Südseite wurde das Material für die Widerlager aus dem Steinbruch oberhalb dem Portal im Haselleh aus den kristallinischen Schiefern gewonnen und ebenfalls an den Halden oberhalb der Schlegmatte bezogen. Die Wölbsteine wurden meistens aus dem grossen Steinbruch beim Riedgarten oberhalb St. German aus Rarner Kalk erstellt. Es ist das ebenfalls ein ausgezeichneter geschichteter massiger Jurakalkstein. In den Strecken ohne Druck wurde das Deckengewölbe ausserdem aus künstlichen Betonsteinen auf 1768 m ausgeführt. Diese Betonsteine mussten nach 28tägiger Luftlagerung eine Druckfestigkeit von 180 kg/cm² im Minimum erreichen. Die Mischung betrug 300 kg Zement auf 1 m³ Sand und feinen Kies und wurde der Beton von Hand in den Modellen gestampft.

Die Bindemittel bestanden aus Sandzementen, wofür in Kandersteg und Hothen je eine Fabrik erstellt wurde. In diesen wurden die reinen Portlandzemente mit Sandpulver aus gemahlenem Kalkfelsen gemischt. Es kamen zwei Sandzemente zur Verwendung, deren Normalmörtel die folgenden minimalen Festigkeiten nach 27tägiger Wasserlagerung zu erzielen hatten: Druckfestigkeit 85 kg/cm², Zugfestigkeit 10 kg/cm², Druckfestigkeit 220 kg/cm², Zugfestigkeit 22 kg/cm². Diese Bindemittel wurden 10er und 22er Lötschit benannt.

Der 22er gelangte in den wasserführenden und den Druckstrecken zur Verwendung, sonst wurde der 10er hauptsächlich gebraucht.

Von jedem Silo wurde Festigkeitsproben an Ort und Stelle, sowie in Bern in den Laboratorien gemacht.

Die erzielten Festigkeiten nach 27tägiger Wasserlagerung des Normalmörtels betrugen im Mittel: beim 10er Lötschit Druckfestigkeit 104 kg/cm², Zugfestigkeit 12,2, beim 22er Lötschit Druckfestigkeit 275 kg/cm², Zugfestigkeit 24,8 kg.

Der Sand sowie Schotter wurde künstlich erzeugt und hat sich als sehr gut erwiesen.

Die Mörtelmischung betrug für den 10er und 22er Lötschit 300 kg Bindemittel auf 1 m³ Sand. Beim Beton waren 175 kg Zement auf 1 m³ Sand und Kies zu nehmen.

Das spezifische Gewicht des 10er Bindemittels betrug 1,0 und des 22er 1,2, während der Normalsand 1,4 hatte.

Die Mauerung begann auf der Nordseite Anfangs Dezember 1907 und auf der Südseite Mitte Juni 1908. Das Gewölbe wurde am 22. April 1912 geschlossen.

Die Fortschritte der Mauerung ergeben sich aus der folgenden Tabelle:

| | | Nordseite | Südseite | Total |
|---|---|---|---|---|
| März 1907 bis Februar 1908 . . . . . . . . . . | m | 70 | — | 70 |
| März 1908 bis Februar 1909 . . . . . . . . . . | m | 942 | 320 | 1262 |
| März 1909 bis Februar 1910 . . . . . . . . . . | m | 1857 | 1834 | 3691 |
| März 1910 bis Februar 1911 . . . . . . . . . . | m | 1854 | 2286 | 4140 |
| März 1911 bis Februar 1912 . . . . . . . . . . | m | 2830 | 2145 | 4975 |
| März 1912 bis Februar 1913 . . . . . . . . . . | m | 397 | — | 397 |
| | m | 7950 | 6585 | 14535 |

Der grösste Monatsfortschritt erreichte auf der Nordseite 263 m und auf der Südseite 255 m.

Die für die Mauerungsarbeiten erforderlichen Schichten betrugen auf beiden Seiten:

| | | Nordseite | Südseite | Total |
|---|---|---|---|---|
| Verkleidung | m | 7950 | 6585 | 14535 |
| Verkleidung | m³ | 104644 | 81898 | 186542 |
| Schichten | | 256438 | 173865 | 430303 |
| Schichten pro m | | 32,3 | 26,4 | 29,6 |
| Schichten pro m³ | | 2,45 | 2,12 | 2,31 |

Der Schichtenaufwand ist auf der Südseite bei der Mauerung geringer, weil man es mit sehr langen Strecken ohne Einbau zu tun hatte, und weil ausserdem zum Deckengewölbe teilweise Betonsteine verwendet wurden.

Der Verbrauch an Bindemitteln betrug 25900 Tonnen oder es wurden pro m³ Mauerwerk 139 kg aufgewendet.

Die Nischen wurden alle 50 m einander gegenüber angebracht, alle Kilometer wurden die Nischen durch kleine Kammern ersetzt und schliesslich sind an 3 Stellen der kleinen Kammern 3 grosse angebracht. Im ganzen Tunnel sind 552 Nischen, 25 kleine und 3 grosse Kammern vorhanden.

### 2. Zubereitung der Baumaterialien.

Bei der Zubereitung der Baumaterialien waren beschäftigt:

| Nordseite | Südseite | Total |
|---|---|---|
| 179669 | 129459 | 309128 |

Auf der Nordseite beziehen sich die Schichten auf die Zubereitung der Bruch- und Vorsetzsteine, des Schotters und künstlichen Sandes, sowie der Bindemittel, welche auch auf der Nordrampe verwendet wurden. Auf der Südseite beziehen sich die Schichten auf die Zubereitung der Bruch- und Vorsetzsteine der Widerlager, des Schotters und Sandes, sowie der künstlichen Betonsteine.

## III. Beschotterung und Geleiselegen.

Der Transport des Schotters der ersten Lage des ersten Geleises im Tunnel wurde von der Nordseite her nach Süden am 5. September 1911 begonnen, Ende Juni 1912 war die erste Schotterlage durch den ganzen Tunnel eingebracht. Das Oberbaulegen des ersten Geleises wurde am 20. Juli 1912 am Nordportal begonnen und erreichte am 28. September 1912 das Südportal. Hierauf folgte der Transport der zweiten Schotterlage und die Regulierung des ersten Geleises. Das Legen des zweiten Geleises wurde, nachdem die erste Schotterlage eingebracht war, am 10. Februar 1913 am Nordportal angefangen und war Ende April bis zum Südportal angelangt, hierauf wurde die zweite Schotterlage eingebracht und das Geleise reguliert. Am 5. Juni 1913 durchfuhr die erste elektrische Lokomotive den Tunnel bis Goppenstein und am 6. Juni 1913 fand die Vorkollaudation durch das Eisenbahndepartement statt.

Die zur Beschotterung im Tunnel und zum Oberbaulegen erforderlichen Schichten betrugen 8740 und 11260 oder total 19730.

## IV. Andere Arbeiten.

### 1. Andere Arbeiten ausserhalb dem Tunnel.

Es wurden für die Zentralverwaltung, den Unterhalt und Betrieb der Installationen, für den Transport und das Abladen des Ausbruchmaterials, sowie Aufladen der Tunnelmaterialien an Schichten aufgewendet:

| | Nordseite | Südseite | Total |
|---|---|---|---|
| Zentralverwaltung | 20928 | 43510 | 64438 |
| Transport, Auf- und Ablad | 82262 | 82614 | 164876 |
| Unterhalt der Installationen | 29560 | 76678 | 106238 |
| Betrieb der Installationen | 168915 | 198004 | 366919 |
| Total | 301665 | 400806 | 702471 |

## 2. Andere Arbeiten im Tunnel.

Im Tunnel wurden für die Aufsicht, den Transport, das Legen und den Unterhalt der Geleise und Leitungen und die Vorbereitungsarbeiten der Mauerung aufgewendet:

| Nordseite | | Südseite | |
|---|---|---|---|
| Schichten | Zugtiere | Schichten | Zugtiere |
| 175429 | 5103 | 217814 | 11130 |

Total Schichten . . . . . . 393243
Total Zugtiere . . . . . . . 16233

Die Verteilung der Schichten wird gleich für den Ausbruch und die Mauerung vorgenommen, so dass wir bei 836858 $m^3$ Ausbruch und 186542 $m^3$ Mauerung, total 1023400 $m^3$ Ausbruch und Mauerung, an Schichten ausserhalb dem Tunnel erhalten 0,69 und im Tunnel 0,38, total ausserhalb und im Tunnel 1,07 Arbeiterschichten und 0,015 Zugtierschichten.

## 3. Tunneltransport.

Im Tunnel wurde der Transport auf der Nordseite mit Zugtieren ausgeführt bis am 12. September 1908, worauf die Luftlokomotiven den Transport übernahmen. Auf der Südseite wurden die Luftlokomotiven am 15. August 1908 in Betrieb gesetzt vom Portal bis zur Tunnelstation; von dieser bis vor Ort wurde der Pferdetransport beibehalten. Auf der Nordseite wurde der Transport mit Pferden von der Tunnelstation bis vor Ort zeitweise wieder aufgenommen. Auf der Südseite wurden im Tunnel öfters noch zu den Luftlokomotiven Dampflokomotiven für den Transport bis zur Tunnelstation verwendet, was nicht gerade zur Verbesserung der Tunnelluft beitrug.

Die Arbeiter wurden für die Ein- sowie Ausfahrt in besonderen Schichtenzügen bis zur Tunnelstation befördert. Es wurden pro Schicht 4 Züge oder täglich 12 ausgeführt.

Die Luftkompressoren zur Lieferung der Luft für die Tunnellokomotiven hatten die Luft auf 100—120 Atmosphären zu komprimieren. Auf der Nord- sowie Südseite waren je 2 solcher Kompressoren in Betrieb.

Auf der Nordseite waren es fünfstufige Kompressoren von Meyer in Mühlheim an der Ruhr, wobei die Luft sukzessive auf 2, 6, 19, 58, 120 Atmosphären komprimiert wurde. Der Kompressor machte 135 Minutentouren und komprimierte 16 $m^3$ Luft pro Minute. Die hiezu erforderliche Kraft betrug 200 PS. Die Hublänge war 400 mm. Der mechanische Wirkungsgrad betrug 64 % und der volumetrische 75 %.

Die Luftlokomotiven waren in 3 verschiedenen Grössen vorhanden und hatten 2 gekuppelte Axen mit 7 Tonnen Adhäsionsgewicht und einen Luftinhalt von 2,65 $m^3$, Kraft 40 PS, 3 gekuppelte Axen mit 11 Tonnen Adhäsionsgewicht und 4,4 $m^3$ Luftinhalt, Kraft 70 PS, mit 4 gekuppelten Axen, Adhäsionsgewicht 24 Tonnen und Luftinhalt von 8 $m^3$, Kraft 180 PS.

Die in den Flaschen-Reservoirs der Lokomotiven aufgespeicherte Luft von 100—120 Atmosphären Spannung gelangte durch Reduktionsventile mit im Mittel 10 Atmosphären Druck in den Zylindern zur Verwendung. Zur Verminderung der Eisbildung bei der Expansion der Luft wurde diese nach Passieren der Reduktionsventile vorgewärmt.

## 4. Tunnelventilation.

Die Arbeitsstellen, namentlich der Stollenort, wurden durch die verwendete komprimierte Arbeitsluft gelüftet. Für die Lüftung der andern Arbeitsstellen wurden kleine Zentrifugalventilatoren Capell in Betrieb gesetzt, welche bei 1100 Minutentouren 2 $m^3$ Luft pro Sekunde liefern konnten bei einer Leitungslänge von 1200 m mit 500 mm l. W. Solche waren zwei auf jeder Seite, die auf Druck gekuppelt werden konnten, vorhanden. Diese provisorische Ventilation blieb im Betrieb, bis die definitive Anlage vollendet war, was auf der Nordseite am 18. März 1909 und auf der Südseite am 19. März 1909 eintrat.

Für die definitive Ventilation waren beidseitig 2 Zentrifugalventilatoren Capell aufgestellt, die bei 250 mm Druck Wassersäule 25 $m^3$ Luft pro Sekunde zu liefern hatten. Der Durchmesser der Ventilatoren betrug 3,50 m. Sie konnten nur auf Quantität zusammen arbeiten und

nicht auf Druck gekuppelt werden. Die erforderliche Kraft betrug 250 PS. Die Luft wurde in einem besondern Kanal von 6,3 m² Querschnitt, der durch eine Wetterscheidewand im vollendeten Tunnel seitlich gebildet wurde, in den Tunnel geblasen.

An den Ausflussstellen oder am Ende der Wetterscheidewand entnahmen 2 kleinere Zentrifugalventilatoren die frische Luft, um sie durch Rohrleitungen von 45—60 cm an die Arbeitsstellen zu befördern. Anfangs, als die grosse Ventilation in Betrieb gesetzt wurde, schloss man direkt an dieselbe mit einer Rohrleitung von 1200 mm l. W. an, um die Luft zu befördern. Später, als die sekundäre Ventilation eingerichtet war, wurden diese Rohre weggenommen und entnahmen die sekundären Ventilatoren die Luft direkt an den Abflussstellen der Wetterscheidewand. Auf der Südseite musste die sekundäre Ventilation durch Einschaltung von kleinern Ventilatoren und Injektoren verstärkt werden, um genügend Luft am Ausfluss der Rohrleitungen zu erhalten. Ausserdem waren Wasserbrausen zur Abkühlung und Niederschlagung des Rauches im Betrieb. Die grosse Luftmenge der primären Ventilation, die am Ende der Wetterscheidewand zum Abfluss gelangte, nützte hauptsächlich nur zur Reinigung der Luft im vollendeten Tunnel und kann die sekundäre Ventilation nur ergiebig sein, sobald die Entfernung von der Fassungsstelle bis zum Ausfluss nicht über 1000 m geht. Immerhin muss bemerkt werden, dass durch reichliche Verwendung der mechanischen Bohrung mit Bohrmaschinen und Bohrhämmern die Luft an den Arbeitsstellen erträglich war, was bei der Mauerung nicht immer zutraf.

Durch die grossen Ventilatoren innerhalb 24 Stunden in den Tunnel geförderte Luft schwankt innert sehr weiten Grenzen und geht aus folgender Zusammenstellung hervor:

| | Nordseite | | | Südseite | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Druck | Tourenzahl | Luftmenge | Druck | Tourenzahl | Luftmenge | Bemerkungen |
| Juni 1909 . . | 50 | 184 | 1344160 | 130 | 200 | 1382400 | 2 Ventilatoren im Betrieb |
| September 1909 | 170 | 190 | 3522700 | 160 | 220 | 1300000 | 2 Ventilatoren im Betrieb |
| Dezember 1909 . | 90 | 190 | 3626200 | 50 | 180 | 394000 | 1 Ventilator im Betrieb |
| März 1910 . . | 85 | 190 | 1470000 | 50 | 195 | 538000 | 1 Ventilator im Betrieb |
| Juni 1910 . . | 71 | 190 | 1029050 | 123 | 220 | 400000 | 2 Ventilatoren im Betrieb |
| September 1910 | 150 | 230 | 390260 | 62 | 240 | 777600 | 2 Ventilatoren im Betrieb |
| Dezember 1910 . | 126 | 213 | 528450 | 68 | 240 | 780600 | 2 Ventilatoren im Betrieb |
| März 1911 . . | 126 | 213 | 376620 | 71 | 240 | 777600 | 2 Ventilatoren im Betrieb |
| Juni 1911 . . | — | — | — | 74 | 240 | 3000000 | Durchgehende einseitige Ventilation |
| September 1911 | — | — | — | 70 | 240 | 2737150 | Idem |
| Dezember 1911 . | — | — | — | 68 | 242 | 4030000 | Idem |
| März 1912 . . | — | — | — | — | — | 3829100 | Idem |

Vom Juni 1911 an nach dem Durchschlag wurde nur noch von einer Seite ventiliert, meistens von der Südseite gesogen oder eingeblasen.

Die sekundäre Ventilation lieferte an die Arbeitsstellen etwa 35000 bis 93000 m³ Luft innerhalb 24 Stunden, je nach der Leitungslänge. Ausser dieser Ventilationsluft gelangte noch die Luft der mechanischen Bohrung und diejenige für den Transport in den Tunnel. Die erstere Luftmenge erreichte, je nachdem 2 oder 3 grosse Niederdruckkompressoren im Betrieb waren, innerhalb 24 Stunden 120000 oder 180000 m³ und diejenige der beiden Hochdruckkompressoren 34000 m³ Luft.

## 4. Festsetzung der Tunnelaxe.

Die Höhenpunkte wurden an die eidgenössischen Fixpunkte in Kandersteg und Goppenstein angeschlossen. Das eidgenössische topographische Bureau führte desshalb im Jahre 1907 noch ein Präzisions-Nivellement Gampel-Goppenstein aus.

Für die Tunnelrichtung wurde eine Triangulation mit Anschluss an 6 Punkte II. und III. Ordnung der schweizerischen Landestopographie ausgeführt: First, Birre, Gellihorn, Steghorn, Altels und Hockenhorn und 5 neue Punkte einbezogen: Kandersteg, Goppenstein, Torrenthorn, Nivengrat und Streitengrat. Von den 5 neuen Punkten wurden Kandersteg und

Torrenthorn durch je 2 Dreiecke und Nivengrat, Streitengrat und Goppenstein durch je ein Dreieck bestimmt.

An Hand der Winkelbestimmungen wurde vom Signal Kandersteg und Goppenstein ausgehend die direkte Absteckung der Tunnelaxe vorgenommen, in Kandersteg Signal First und in Goppenstein Signal Immengrat bestimmt. Vom Signal Immengrat wurde über Signal Goppenstein das Signal Wildelsigengrat gegeben und dieselbe Operation vom Signal First über Kandersteg nach dem Wildelsigengrat gegeben. Die Abweichung der beiden Visuren der Südseite und Nordseite ergab auf dem Wildelsigengrat 2,5 cm, es war also die Tunnelrichtung genau genug festgestellt.

Im Jahre 1907 wurde eine Kontrolle der Tunnelrichtung mit Aufstellung auf dem Wildelsigengrat vorgenommen. Der Signalpunkt First wurde um 1 cm westlich verschoben, womit alle 3 Punkte der Tunnelaxe in die Gerade zu liegen kamen, First, Wildelsigengrat und Immenen-Grat. Für die Tunnel-Triangulation wurden auf der Nordseite 3 sekundäre Punkte und auf der Südseite 2 solche in der Tunnelrichtung aufgestellt.

Die Kontrolle nach dem Durchschlag ergab:

In der Tunnelrichtung eine Abweichung von 25,7 cm
in der Länge eine solche von . . . . . — 41 »
und in der Höhe von . . . . . . . . . 10,2 »

Die Höhendifferenz wird noch durch ein Präzisionsnivellement durch den Tunnel verifiziert.

Die Axabsteckungen im Tunnel wurden periodisch 1 bis 2mal jährlich an den Feiertagen vorgenommen.

### 6. Arbeiten zur Sicherung der Tunnelausgänge.

Zur Sicherung der beiden Portalausgänge wurden auf der Nordseite auf der Kiste am Fisischafberg und auf der Südseite auf der Faldumalp oberhalb Goppenstein Lauenenverbauungen ausgeführt.

Diese bestehen aus Trockenmauern, Terassenmauern und Erdterrassen, ausserdem wird das überbaute Gebiet aufgeforstet.

Die Kosten der Lauenenverbindungen der Nordseite betragen Fr. 170,000.— oder pro $m^2$ überbaute Fläche Fr. 1.15.

Die Verbauungen auf der Faldumalp kosteten Fr. 358,000 was pro $m^2$ der verbauten Fläche eine Auslage von Fr. 1.06 ausmacht.

Diese Verbauungen erhielten von der Eidgenossenschaft sowie den Kantonen Beiträge von über 50 %.

Die Lauenenverbauungen auf der Nordseite wurden in der Höhe 1800 bis 2200 m ü. M., auf der Südseite zwischen 2100 bis 2600 m ü. M. ausgeführt.

## V. Meteorologische Beobachtungen.

In Kandersteg und Goppenstein wurden meteorologische Stationen in den Dienstgebäuden der Bahnverwaltung errichtet und die Ablesungen 3mal täglich ausgeführt. Die Höhe der Beobachtungsstation Kandersteg betrug 1194 m ü. M. und von Goppenstein 1210 m ü. M.

Die Jahresmittel erreichen:

**Kandersteg.**

| Jahr | Lufttemperatur °C | Barometerstand auf Null reduziert | Niederschlag mm | Schnee total cm |
|---|---|---|---|---|
| 1907 | 6,33 | — | — | 446 |
| 1908 | 5,26 | 661,38 | 991 | 472 |
| 1909 | 4,50 | 659,87 | 1053 | 317 |
| 1910 | 5,46 | 659,48 | 1338 | 397 |
| 1911 | 6,51 | 661,63 | 978 | 288 |
| 1912 | 5,40 | — | 1015 | — |
| Mittel | 5,58 | 660,50 | 1075 | 384 |

### Goppenstein.

| Jahr | Lufttemperatur °C | Barometerstand auf Null reduziert | Niederschlag mm | Schnee total cm |
|---|---|---|---|---|
| 1907 | 7,82 | — | — | 315 |
| 1908 | 6,86 | — | — | 490 |
| 1909 | 5,98 | — | — | 152 |
| 1910 | 6,36 | 658,50 | 1005 | 410 |
| 1911 | 7,19 | 660,22 | 618 | 299 |
| 1912 | 6,38 | — | 682 | — |
| Mittel | 6,76 | 659,36 | 768 | 333 |

In Kandersteg auf der Nordseite haben wir eine niedrige Lufttemperatur und einen höhern Barometerstand, das würde im grossen Tunnel für den natürlichen Luftzug mehr Nordzug ergeben.

Die Niederschlagsmenge, sowie die gefallene Schneehöhe ist auf der Nordseite grösser wie auf der Südseite.

## VI. Beobachtungen der Temperaturen im Tunnel.

Es werden zwei Gebirgsketten unterfahren, einmal die Ausläufer vom Doldenhorn und dann das Balmhornmassiv. Das Doldenhornmassiv ist vom Balmhornmassiv durch das Kandertal (Gasternboden) tief eingeschnitten und auf der Südseite geht das Lötschental längs der Balmhornkette. Ausser dem Gasterntal werden noch kleinere Einschnitte auf der Südseite, wie vom Ferdenbach, vom Dornbach und vom Faldumbach unterfahren.

Am Lötschbergtunnel wurden in den Bohrlöchern der mechanischen Bohrung alle 50 m Temperaturbeobachtungen gemacht und waren permanente Stationen bei km 0,500, 1,00, 2,00, 3,00, 4,00, 5,00, 6,00 und 7,00 von den beiden Portalen an gerechnet angelegt.

In Kandersteg, sowie Goppenstein waren meteorologische Stationen, woselbst die üblichen Beobachtungen 3 mal täglich ausgeführt wurden. Es ergeben sich die folgenden mittleren Lufttemperaturen der Jahre 1907 bis 1911:

in Kandersteg 1194 m ü. M. . . . . . . . . . 5,60° C
in Goppenstein 1210 m ü. M. . . . . . . . . . 6,80° C

Da nun diese Lufttemperaturen wegen der kurzen Beobachtungsdauer nicht die wahren Jahresmittel sind, so hat man diese zu korrigieren nach den Abweichungen vom Mittel der benachbarten Stationen von längerer Beobachtungsdauer.

Diese Korrekturen betrugen für Kandersteg und Goppenstein — 0,50° C, um welchen Betrag obige Lufttemperaturen zu hoch sind. Die Lufttemperatur für Kandersteg wäre demnach 5,10 und für Goppenstein 6,30° C oder das Mittel für 1200 m ü. M. 5,70° C.

Für die Bodentemperaturen geht man von den Mitteln der am Gotthard- und Simplontunnel gefundenen aus.

Auf der Höhe 2130 m ü. M. ist die Lufttemperatur 0,00 oder man hat pro 1° C Temperaturabnahme einen Höhenzuwachs von 163 m.

Für die Lufttemperatur 5,70° C ergibt sich eine Bodentemperatur von 6,90° C und für Null Grad 3,50° C.

Für die Bodentemperaturen wurde das Mittel aus denjenigen vom Gotthard und Simplon genommen und diese betragen für die verschiedenen Höhen ü. M.:

1200 m . . . . . . . . . . . . . . 6,90° C
1500 m . . . . . . . . . . . . . . 5,80° C
1800 m . . . . . . . . . . . . . . 4,70° C
2100 m . . . . . . . . . . . . . . 3,60° C
2400 m . . . . . . . . . . . . . . 2,60° C
2700 m . . . . . . . . . . . . . . 1,50° C

Der Kulminationspunkt der Terrainoberfläche vom Balmhornmassiv liegt in der Höhe 2810 m ü. M.

Die verschiedenen Temperaturen sind in der folgenden Tabelle enthalten:

## Tabelle der Gesteins-Temperaturen im Tunnel.

| Kilometer vom Portal | Kürzeste Distanz zur Oberfläche | Höhe des Punktes über Meer | Boden-temperatur | Gesteins-temperatur | Temperatur-zuwachs | Geothermische Tiefenstufe | Berechnete Tiefenstufe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,200 | 110 | 1300 | 6,60 | 9,00 | 2,40 | 41,7 | |
| 400 | 220 | 1400 | 6,20 | 8,00 | 1,80 | 122,2 | |
| 600 | 320 | 1440 | 6,10 | 8,00 | 1,90 | 168,4 | |
| 800 | 480 | 1440 | 6,10 | 8,00 | 1,90 | 252,6 | |
| 1,000 | 660 | 1440 | 6,10 | 8,50 | 2,40 | 275,0 | |
| 200 | 730 | 1870 | 4,45 | 10,50 | 6,05 | 120,7 | |
| 400 | 415 | 1600 | 5,45 | 9,00 | 3,55 | 116,9 | |
| 600 | 420 | 1600 | 5,45 | 9,00 | 3,55 | 118,3 | |
| 800 | 475 | 1660 | 5,20 | 9,50 | 4,30 | 110,5 | |
| 2,000 | 550 | 1740 | 4,90 | 11,50 | 6,60 | 83,3 | |
| 200 | 510 | 1730 | 4,90 | 13,50 | 8,60 | 59,3 | |
| 400 | 495 | 1720 | 4,90 | 14,00 | 9,10 | 54,4 | |
| 600 | 485 | 1690 | 5,10 | 14,50 | 9,40 | 51,6 | |
| 800 | 465 | 1660 | 5,20 | 16,00 | 10,80 | 43,1 | |
| 3,000 | 440 | 1650 | 5,25 | 16.00 | 10,75 | 40.9 | |
| 200 | 425 | 1630 | 5,35 | 15,00 | 9,65 | 44,0 | |
| 400 | 405 | 1600 | 5,45 | 14,00 | 8,55 | 47,4 | |
| 600 | 390 | 1600 | 5,45 | 13,50 | 8,05 | 48,4 | |
| 800 | 375 | 1590 | 5,45 | 12,80 | 7,35 | 51,0 | |
| 4,000 | 360 | 1590 | 5,45 | 12,30 | 6,85 | 52,6 | |
| 200 | 355 | 1585 | 5,50 | 14,40 | 8,90 | 39,9 | 29,0 |
| 400 | 330 | 1560 | 5,60 | 15.60 | 10,00 | 33,0 | 28,0 |
| 600 | 290 | 1520 | 5,75 | 16,00 | 10,25 | 28,3 | 26,2 |
| 800 | 235 | 1470 | 5,80 | 16,30 | 10,50 | 22,4 | 23,6 |
| 5,000 | 235 | 1470 | 5,80 | 16,20 | 10,40 | 22,6 | 20,6 |
| 200 | 250 | 1480 | 5,85 | 16,80 | 10,95 | 20,8 | 21,2 |
| 400 | 330 | 1550 | 5,65 | 17,80 | 12,15 | 27,1 | 24,3 |
| 600 | 430 | 1620 | 5,40 | 18,90 | 13,50 | 31,8 | 27,8 |
| 800 | 540 | 1720 | 4,90 | 20.30 | 15.40 | 35.0 | 31,1 |
| 6,000 | 590 | 1800 | 4,70 | 21.80 | 16,10 | 36,6 | 29,6 |
| 200 | 660 | 1900 | 4,35 | 22,90 | 18,55 | 35,6 | 31,4 |
| 400 | 720 | 1970 | 4,15 | 24,10 | 19,95 | 36,1 | 32,7 |
| 600 | 770 | 2010 | 3,95 | 24,80 | 20,85 | 36,9 | 33,8 |
| 800 | 800 | 2040 | 3,90 | 26,50 | 22,60 | 35,4 | 34,5 |
| 7,000 | 840 | 2060 | 3,75 | 27,40 | 23,65 | 35,5 | 35,4 |
| 200 | 890 | 2090 | 3,60 | 28,10 | 24,50 | 36,3 | 36,4 |

| Kilometer vom Portal | Kürzeste Distanz zur Oberfläche | Höhe des Punktes über Meer | Boden-temperatur | Gesteins-temperatur | Temperatur-zuwachs | Geothermische Tiefenstufe | Berechnete Tiefenstufe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7,150 | 950 | 2170 | 3,40 | 29,70 | 26.30 | 36,10 | 36,3 |
| 7,000 | 1020 | 2170 | 3,40 | 31,00 | 27,60 | 36,90 | 38,9 |
| 6,800 | 1140 | 2200 | 3,30 | 32,00 | 28,70 | 39,7 | 41,2 |
| 600 | 1240 | 2250 | 3,10 | 32,00 | 28,90 | 42,9 | 43,1 |
| 400 | 1350 | 2570 | 1,95 | 33,00 | 31,05 | 43,4 | 44,8 |
| 200 | 1440 | 2600 | 1,85 | 33.00 | 31,15 | 46,2 | 46,2 |
| 6,000 | 1480 | 2670 | 1,60 | 34,00 | 32,40 | 45,7 | 47,0 |
| 5,800 | 1435 | 2680 | 1,60 | 33,20 | 31,60 | 45,4 | 46,2 |
| 600 | 1385 | 2625 | 1,80 | 33,20 | 31,40 | 44,1 | 45,4 |
| 400 | 1340 | 2560 | 1,95 | 32,40 | 30,45 | 44,0 | 44,6 |
| 200 | 1280 | 2500 | 2,20 | 32,00 | 29,80 | 42,9 | 43,7 |
| 5,000 | 1190 | 2400 | 2,60 | 32,00 | 29,40 | 40,5 | 42,1 |
| 4,800 | 1110 | 2270 | 3,00 | 30,40 | 27,40 | 40,5 | 40,6 |
| 600 | 1060 | 2360 | 3,00 | 30,50 | 27,50 | 38,5 | 39,8 |
| 400 | 1030 | 2240 | 3,15 | 30,20 | 27,05 | 38,1 | 39,2 |
| 200 | 1020 | 2240 | 3,15 | 29,80 | 26,65 | 38,3 | 38,9 |
| 4,000 | 1020 | 2240 | 3,15 | 27,90 | 24,75 | 42,0 | 38,9 |
| 3,800 | 1060 | 2290 | 3,00 | 28,50 | 25,50 | 41,6 | 39,7 |
| 600 | 1080 | 2310 | 2,90 | 26,50 | 23,60 | 45,7 | 44,0 |
| 400 | 1010 | 2220 | 3,30 | 26,50 | 23,20 | 43,5 | 42,6 |
| 200 | 940 | 2160 | 3,40 | 26,70 | 23,30 | 40,3 | 41,1 |
| 3,000 | 850 | 2080 | 3,70 | 26,20 | 22,50 | 37,8 | 39,1 |
| 2,800 | 780 | 2010 | 3,95 | 25,20 | 21,25 | 36,7 | 37,4 |
| 600 | 790 | 2020 | 3,90 | 24,50 | 20,60 | 38,3 | 37,7 |
| 400 | 810 | 2030 | 3,90 | 24,50 | 20,60 | 39,4 | 38,1 |
| 200 | 810 | 1960 | 4,15 | 23,70 | 19,55 | 41,4 | 38,1 |
| 2,000 | 700 | 1860 | 4,45 | 23,80 | 19,35 | 36,2 | 35,5 |
| 1,800 | 625 | 1820 | 4,65 | 21,50 | 16,85 | 37,1 | 33,5 |
| 600 | 590 | 1800 | 4,70 | 20,00 | 15,30 | 38,5 | |
| 400 | 590 | 1800 | 4,70 | 20,50 | 15,80 | 37,3 | |
| 200 | 580 | 1650 | 5,25 | 17,80 | 12.55 | 46,2 | |
| 1,000 | 450 | 1580 | 5,50 | 17,00 | 11,50 | 39,1 | |
| 800 | 320 | 1510 | 5,80 | 14,50 | 8,70 | 36,8 | |
| 600 | 220 | 1450 | 6,00 | 12,20 | 6.20 | 35,5 | |
| 400 | 140 | 1400 | 6,20 | 11,70 | 5.50 | 25,4 | |
| 200 | 60 | 1330 | 6,45 | 8,70 | 2,25 | 26,6 | |
| | | **Mittel** | 4,41 | 20.79 | 16,38 | | |

Die maximale Gesteinstemperatur erreichte 34,0° C, was für einen Temperaturzuwachs von 32,40°C auf 1490 m maximale Ueberlagerung eine geothermische Tiefenstufe von 46 m auf 1°C Temperaturzunahme ergibt.

Aus den geothermischen Tiefenstufen ersieht man, dass diese keinen normalen Verlauf vom Nordportal bis km 4,000 und von km 2.000 bis zum Südportal haben. Auf der Nordseite gehen wir durch eine Gebirgszone durch, wo das Gestein unter dem Gasternboden abgekühlt ist und auf der Südseite sind wir von km 2,000 bis zum Südportal in einer nassen Strecke.

Die geothermische Tiefenstufe ist nicht konstant, sondern sie wächst mit der Ueberlagerung, die Kurven der Geoisothermen werden unter Gebirgsgipfeln in die Höhe gezogen und liegen weiter auseinander. Werden die geothermischen Tiefenstufen für den Gasterngranit und den kristallinischen Schiefer betrachtet, so kommt man zum Resultat, dass im Gasterngranit die geothermische Tiefenstufe nach der Formel $g = 1,22 \sqrt{h}$ und im kristallinischen Schiefer nach der Formel $g = 1,34 \sqrt{h}$ bestimmt werden kann, wobei h die kürzeste Entfernung vom

Punkt im Tunnel nach der Oberfläche bezeichnet. Das Wärmeleitungsvermögen ist in der Richtung senkrecht zu den Schichten und parallel zu denselben ein verschiedenes, dasselbe ist im erstern Falle geringer wie im zweiten und bewegt sich in einer Ellipse, so dass die grössere Achse derselben dem Leitungsvermögen parallel zur Schichtung entspricht und senkrecht dazu der kleinern Achse.

Wir nehmen nun an, dass die Wärmeverteilung in der Schichtungsebene nach einem Kreis erfolgt, d. h. in allen Richtungen in der Ebene dieselbe ist. Man erhält die isotherme Oberfläche, indem man die Ellipse um die kleine Achse dreht, d. h. die Oberfläche gleicher Wärmeverteilung erfolgt in einem Rotationsellipsoid, das durch Drehung der Ellipse um die kleine Axe entsteht.

Man hat nun im geologischen Längenprofil die Neigung der Richtung der kürzesten Entfernung nach der Oberfläche mit der Schichtungsrichtung zu bestimmen. Der Winkel parallel mit der Schichtungsrichtung wäre Null und senkrecht hiezu 90°. Wollte man ganz genau verfahren, so hätte man die Richtung der kürzesten Distanz nicht nur im Längenprofil sondern auch nach seitwärts zu bestimmen, was aber ganz genaue Aufnahmen der Terrainoberfläche bedingte und ausserdem noch den ganzen Verlauf der Schichtung des Gesteins, was erst approximativ nach dem Durchschlag des Stollens möglich wäre. Da man in der Regel diese Aufnahmen nicht besitzt, ist es genau genug, vom geologischen Längenprofil auszugehen und das umsomehr, als bei Bestimmung der geothermischem Tiefenstufe nicht allein vom Wärmeleitungsvermögen der einzelnen Gesteinsarten abhängt, sondern ebenfalls von der Terrainoberflächengestaltung und von dem Vorhandensein des Wassers im zu durchfahrenden Gebirge.

Da der Wärmeleitungskoeffizient im Gasterngranit senkrecht zur Schichtungsrichtung und parallel zu derselben sich wie 1 : 1,28 verhält, so ergibt sich derselbe, da er bei 50° 30′ 1,22 erreicht, zu 1,14 : 1,46. Beim kristallinischen Schiefer ist das Verhältnis des Wärmeleitungskoeffizienten 1 : 1,40, und da derselbe bei 31° 15′ 1,34 erreicht, so ergibt sich das Verhältnis des Wärmeleitungskoeffizienten senkrecht zur Schichtungsrichtung und parallel zu derselben wie 1,07 : 1,50.

Das Wärmeleitungsvermögen vom Granit stellt sich in kg Kalorien pro Stunde und 1 m² pro 1° C senkrecht zur Schichtungsrichtung auf 1,94 Kalorien und parallel zu derselben auf 2,48 Kalorien und beim kristallinischen Schiefer auf 1,82 Katorien und 2,55 Ka.

Die mittlere Höhe der Tunnelsohle betrug 1221 m und die mittlere Höhe der Terrainoberfläche 2028 m ü. M., so dass die mittlere Terrainoberfläche 807 m über der Tunnelsohle liegt.

Der ganze Profilinhalt beträgt 11736300 m².

Die ursprünglichen Gesteinstemperaturen haben bis zur Vollendung des Tunnels abgenommen und betrugen im Minimum an den verschiedenen permanenten Stationen:

| | Stationen | Gesteinstemperatur | | Abkühlung | Zeit der Abkühlung | Abkühlung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ursprüngliche | minimale | | Monate | pro Monat |
| Km | 0,5 | 7,50 | — | — | — | — |
| | 1,0 | 8,50 | 7,0 | — 1,5 | 38 | 0,04 |
| | 2,0 | 11,50 | 10,3 | — 1,2 | 31 | 0,04 |
| | 3,0 | 16,00 | 12,2 | — 3,8 | 28 | 0,13 |
| | 4,0 | 12,30 | 12,5 | + 0,2 | | |
| | 5,0 | 16,20 | 14,30 | — 2,9 | 18 | 0,16 |
| | 6,0 | 21,80 | 17,50 | — 4,3 | 21 | 0,20 |
| | 7,0 | 27,40 | 22,7 | — 4,70 | 17 | 0,25 |
| | 7,5 / 7,0 | 30,15 | 22,5 | — 7,65 | 16 | 0.48 |
| | 6,0 | 34,0 | 23,0 | —11,0 | 23 | 0,48 |
| | 5,0 | 32,0 | 24,5 | — 7,5 | 29 | 0,26 |
| | 4,0 | 27,9 | 24,3 | — 3,6 | 36 | 0,10 |
| | 3,0 | 26,0 | 22,2 | — 3,8 | 43 | 0,09 |
| | 2,0 | 23,8 | 19,0 | — 4,8 | 30 | 0,16 |
| | 1,0 | 17,0 | 13,5 | — 3,5 | 42 | 0,08 |
| | 0,5 | 11,2 | 9,5 | — 1,7 | 42 | 0,04 |

Die Abkühlung der Gesteinstemperaturen nimmt gegen die Tunnelmitte zu und war am grössten nach dem Durchschlag, als das ganze Luftquantum der primären Ventilation durch den Tunnel ging, wobei die Differenz zwischen Gesteins- und Lufttemperatur auch ein Maximum war. Die Abkühlung erreichte z. B. bei km 7000 vom Südportal in der Zeit von 4 Monaten 7,5° C oder pro Monat 1,9° C und nimmt mit der Zeitdauer immer weniger ab. Die Gesteinstemperatur wird kaum unter 18° C gehen.

Bei der Ventilation ergibt sich die Tatsache, dass die Lufttemperatur in der Zugrichtung dem Austrittsportal zu zunimmt, bei Südzug bis km 7,500 und bei Nordzug bis km 11,0.

Die Mittel der Lufttemperaturen erreichen bei Nord-Südzug, bei Nordzug und bei Südzug allein:

| Km. | N.-S. | N. | S. | Differenz N. und S.-Zug |
|---|---|---|---|---|
| 1 . . . . . . | 9,60 | 8,50 | 12,0 | plus 3,50 |
| 2 . . . . . . | 10,20 | 9,50 | 13,8 | » 4,30 |
| 3 . . . . . . | 12,60 | 10,50 | 15,0 | » 4,50 |
| 4 . . . . . . | 14,6 | 12,30 | 17,8 | » 5,50 |
| 5 . . . . . . | 16,6 | 14,60 | 18,8 | » 4,20 |
| 6 . . . . . . | 18,5 | 15,90 | 20,5 | » 4,60 |
| 7 . . . . . . | 20,1 | 18,1 | 21,8 | » 3,70 |
| 7,5 . . . . . . | 21,2 | 19,2 | 22,9 | » 3,70 |
| 6 . . . . . . | 21,6 | 21,2 | 23,0 | » 1,80 |
| 5 . . . . . . | 21,7 | 22,7 | 21,5 | minus 1,20 |
| 4 . . . . . . | 20,9 | 23,2 | 19,5 | » 3,70 |
| 3 . . . . . . | 19,9 | 23,0 | 17,6 | » 5,40 |
| 2 . . . . . . | 17,6 | 22,5 | 14,0 | » 8.50 |
| 1 . . . . . . | 14,0 | 20,4 | 9,20 | » 11,20 |

Bei Südzug geht die Lufttemperatur dem Austrittsportal zu über die ursprüngliche Gesteinstemperatur und bei Nordzug ebenfalls. Die Differenz der Lufttemperaturen ist zwischen Nord- und Südzug auf der Nordseite lange nicht so gross wie auf der Südseite, weil wir überhaupt bis km 4,000 auf der Nordseite abnormal niedrige Gesteinstemperaturen hatten, so dass die Lufttemperatur bei Nordzug schon verhältnismässig niedrig bis km 4,000 bleibt und bei Südzug stark durch diese Strecke abgekühlt wird.

Die äussere Lufttemperatur macht sich bis zur Tunnelmitte geltend.

## VII. Wohlfahrtseinrichtungen für die Arbeiter.

Die Unternehmung erstellte für die Unterkunft der Beamten und Arbeiter Gebäude mit Kantinen, was in erhöhtem Masse in Goppenstein erforderlich war, wo vor Beginn der Arbeiten nur ein Bergwerksgebäude und einige Ställe vorhanden waren. Zur Behandlung der verunfallten und erkrankten Arbeiter war je ein Spital in Kandersteg und Goppenstein eingerichtet, in welchen 25 bis 40 Kranke untergebracht werden konnten. Der ärztliche Dienst wurde von einem Arzt geleistet mit 3 Krankenwärtern und 3 Schwestern in Kandersteg und 2 Krankenwärtern und 2 Schwestern in Goppenstein. Die Schwerkranken wurden auf der Südseite in den Spital Brig transportiert.

Zur körperlichen Pflege der Arbeiter dienten beidseitig Douchen und für die Beamten Wannenbäder, ausserdem wurden die Tunnelkleider im Douchenraum zum Austrocknen gelassen. Die Benützung der Douchen beschränkte sich auf etwa 50% der Arbeiter. Mit der Badanstalt war eine Waschanstalt verbunden und eine Desinfektionsanlage.

Für den Schulunterricht waren in Kandersteg sowie in Goppenstein von der Institution Bonomelli Schulen gegründet, welche 200 bis 240 Kinder aufnahmen.

In Goppenstein waren 2 Bäckereien, 2 Metzgereien und 5 Lebensmittelmagazine im Betrieb. Ein Lebensmittelmagazin wurde als Cooperativgesellschaft durch die Unternehmung unterstützt.

In Goppenstein wurde ein Hotel von der Unternehmung geführt. Die Unternehmung forderte für das leere Zimmer Fr. 10.— monatlich und für Private Frs. 12.50. Der unverheiratete Arbeiter, der bei Familien einlogiert war, bezahlte pro Monat Fr. 6.—. In einem Zimmer befanden sich 2 bis 3 Betten. Den Beamten der Unternehmung wurde ein Pensionspreis von Fr. 90.— monatlich gefordert.

Die Preise der hauptsächlichsten Lebensmittel betrugen im Magazin der Unternehmung in Goppenstein:

| | |
|---|---|
| Eine Portion Suppe | 20 Ct. |
| Eine Portion Fleisch und Gemüse | 50 » |
| Milchkaffee | 30 » |
| 1 Glas Bier 3 dl. | 20 » |
| 1 Liter Rotwein | 40 » |
| 1 Liter Weisswein | 80 » |
| 1 kg Käse | Fr. 2. 20—3. 50 |
| 1 kg Brot | » 0. 35—0. 40 |
| 1 kg Reis | » 0. 50 |
| 1 kg Rindfleisch | » 1. 50—1. 90 |
| 1 kg Kalbfleisch | » 1. 60—2. — |
| 1 kg Butter | » 2. 80 |
| 1 Liter Oel | » 1. 20—1. 70 |
| 1 kg Speck | » 1. 85 |
| 1 kg Mais | » 0. 28 |
| 1 kg Weissmehl | » 0. 55 |
| 1 kg Kartoffeln | » 0. 12 |
| 1 kg Zwiebeln | » 0. 30—0. 40 |
| 1 kg Kaffee | » 1. 60 |
| 1 kg Zucker | » 0. 55 |

In Kandersteg wurde die Kantonspolizei vermehrt und in Goppenstein ein Gendarmerieposten von 4 Mann während der Bauzeit vorgesehen. Ein Postbureau wurde in Goppenstein ebenfalls eingerichtet.

Im Tunnel selbst waren die erforderlichen Aborte aufgestellt und ausserdem für leichtere Unfälle ein Samariterposten.

Der mittlere Abeiterstand betrug beidseitig pro Tag 2010 und das Maximum erreichte 3250 pro Tag, wobei der Arbeiterstand in Goppenstein um circa 28 % höher war wie auf der Nordseite.

Die Arbeiter waren grösstenteils Italiener, wovon zirka 40 % Süditaliener, 30 % aus Mittelitalien, 12 % Lombarden und 15 % Piemontesen waren und der Rest Einheimische. Ein grosser Teil der Arbeiter war mit den Familien auf der Arbeitsstelle, so dass in Goppenstein eine neue Arbeiterbevölkerung von 3600 Seelen über die Bauzeit entstand.

Die in den Postbureaux auf Mandate einbezahlten Geldsendungen nach Italien erreichten

| | |
|---|---|
| auf der Nordseite in Kandersteg | Fr. 2,196,000. — |
| und auf der Südseite in Goppenstein und Gampel | » 2,954,000. —, |

was auf die Schichte der Nord- und Südseite eine Ersparnis von Fr. 1. — ergibt und zirka 23 % der ausbezahlten Löhne ausmacht.

## VIII. Unfälle.

Die zur Anzeige gelangten Unfälle von über 6 Tagen Dauer waren die folgenden:

| | Nordseite | Südseite |
|---|---|---|
| Leichtere Unfälle ohne bleibenden Nachteil | 1589 | 2997 |
| Schwere Unfälle mit bleibendem Nachteil | 6 | 4 |
| Todesfälle | 35 | 29 |
| Total | 1630 | 3030 |

Es macht das von der Schichtenzahl auf der Nordseite 0,9 ‰ und auf der Südseite 1,29 ‰ aus.

Unter den Todesfällen befinden sich in Kandersteg 25 für den Einbruch im Gasterntal und in Goppenstein 10 vom Lauenenunglück herrührend.

Die Unternehmung hatte eine Selbstversicherung gegen Unfälle für ihre Arbeiter, wofür den Arbeitern ein Lohnabzug von 2 % gemacht wurde.

Während der ganzen Bauzeit trat einmal eine Typhusepidemie in Goppenstein auf, die namentlich Opfer unter den Kindern forderte. Sonst war der Gesundheitszustand ein guter.

Arbeiterstreike sind keine vorgekommen.

## IX. Kosten des Tunnels.

Der Tunnel wurde zum Forfaitpreis von Fr. 50000000 vergeben, wobei die Gesteinstemperatur nicht über 40° C steigen und die Verkleidung nicht stärker wie 1,00 m im Gewölbe sein durfte.

Für die Vermehrung der Nischen und Kammern, die Anfangs nur alle 50 m verschränkt vorgesehen waren, aber in der Ausführung alle 50 m einander gegenüber erstellt wurden, erhielt die Unternehmung einen Zuschlag von Fr. 71000.

Die Beschotterung beider Geleise machte Fr. 218316 aus.

In den monatlichen Abschlagszahlungen wurden die Arbeiten nach den folgenden Einheitspreisen vergütet, wobei die Beträge kilometerweise nach der Tunnelmitte sich steigerten.

| km | I | II | III | IV | V | VI | VII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sohlstollen . . . . | 430 | 434 | 448 | 476 | 493 | 524 | 562 |
| Firststollen . . . . | 300 | 304 | 314 | 324 | 337 | 367 | 382 |
| Vollausbruch . . . | 1081 | 1105 | 1152 | 1222 | 1316 | 1435 | 1586 |
| Verkleidung . . . | 640 | 654 | 682 | 723 | 778 | 895 | 922 |
| Wetterscheidewand . | 260 | 264 | 270 | 282 | 297 | 317 | 340 |
| Total | 2711 | 2761 | 2866 | 3027 | 3221 | 3538 | 3792 |

Der Betrag der Installationen von Fr. 7000000 wurde in bestimmten Monatsraten, vom Datum des Beginnes der mechanischen Bohrung an bis ins dritte Jahr gehend, bezahlt.

Die elektrische Kraft wurde der Unternehmung zum Betrage von 2 Millionen Franken für die ganze vertragliche Bauzeit geliefert.

## X. Naturereignisse.

Die Arbeiten am Lötschberg-Tunnel wurden durch 2 Naturereignisse ungünstig beeinflusst, welchen leider eine grössere Anzahl Arbeiter zum Opfer fielen.

Am 29. Februar 1908 ging in Goppenstein infolge eines Unwetters eine Staublawine (die gemeine Lauene) vom Streitengrat nieder, die das Hotel der Unternehmung auf dem Installationsplatz wegfegte, sowie vom Bureau der Unternehmung, der Post und dem Gendarmeriegebäude teilweise die Dächer wegriss. Die Gebäude, die sehr leicht in Holz erstellt waren, konnten dem Winddruck nicht widerstehen. Der Niedergang der Lawine erfolgte im Moment, als das Personal der Unternehmung beim Nachtessen war. Von den unter den Trümmern des Hotels begrabenen Personen blieben 10 Angestellte der Unternehmung und 2 Vertreter fremder Firmen tot, 8 Beamte und 7 Personen des Dienstpersonals vom Hotel wurden verletzt.

Der Stollenvortrieb blieb infolge dieses Unfalles den ganzen Monat März eingestellt und wurde an den andern Arbeitsstellen ebenfalls reduziert gearbeitet. Die Walliser Regierung ordnete die Organisation einer Lawinenwache an, wozu die Lötschentaler herangezogen wurden. Die Lawinenwache trat immer bei lawinengefährlichem Wetter in Diensten und traf ihre Anordnungen zum Schutze der Arbeiter.

Am 24. Juli 1908 morgens 2 Uhr 30 erfolgte vor Stollenort auf der Nordseite bei km 2,675 ein Wasser- und Materialeinbruch, als der Stollen vom festen Malm in das Flussgeschiebe der Kander eintrat. Der Einbruch erfolgte nach Abgang der Schüsse und geschah mit solcher Gewalt, dass in zirka 15 Minuten der Stollen auf 1100 m Länge mit Flussgeschiebe gefüllt war und 25 Stollenarbeiter, die sich für das Abgeben der Schüsse zurückgezogen hatten, vom Schuttstrom ergriffen und begraben wurden. Durch diesen Einbruch bildete sich im Gasterntal zirka senkrecht über der Einbruchstelle eine Einbruchdoline, die eine Maximalsenkung des Terrains von 2,10 m ergab und von elliptischer Form war. Die Durchmesser der Einsenkung betrugen 40 und 50 m, die äussersten Spuren der Einsenkung lagen noch zirka innerhalb der Durchmesser von 80—100 m. Nach dem Einbruch konnte noch eine maximale Senkung des Terrains von 12 cm festgestellt werden, worauf Stillstand eintrat. Die Masse des eingesunkenen Terrains an der Oberfläche betrug 2200 $m^3$, währenddem das in den Stollen eingedrungene Material zirka 6000 $m^3$ ausmachte.

Der Stollen, der bei km 2550 die Talsohle erreicht hatte, befand sich bis zur Einbruchstelle, km 2,675 beständig in flach nach Norden geneigtem Malm. Quellen traten auf von km 2,498 bis km 2,650 mit total 95 Sekundenliter, wovon die bei km 2,627 50 lieferte. Die Gesteinstemperatur nahm von km 2,550 von 10,5° C bis km 2,616 auf 8,0° C im Minimum ab und stieg bis vor Stollenort wieder auf 8,5 bis 9,0° C. Die Wassertemperatur betrug 6,5° C.

Ohne das Eindringen von einer so grossen Wassermenge wäre die Zufüllung des Stollens auf eine solche Länge nicht möglich gewesen. Um die Stollenräumungsarbeiten sicher ausführen zu können, wurde bei km 1,426 bis 1,436 eine Absperrmauer im Stollen ausgeführt, die Abflussröhren für das Wasser enthielt, damit diese nicht unter Druck kommt. Vom 14. August an floss das Wasser klar ab und hatte auf 70 Sekundenliter abgenommen.

Die Vollausbruch- und Mauerungsarbeiten wurden, soweit sie im Tracé lagen, ruhig weiter betrieben.

Nach dem geologischen Gutachten von Fellenberg, Schardt und Kissling, im Auftrage der Berner Regierung im Jahre 1900, sollte der Felsen unter dem Gasterntal und der Kander sich 100 m über die Tunnelsohle erheben, somit die Stärke des Flussgeschiebes nur zirka 80 bis 90 m über dem Felsen erreichen.

Um sich Gewissheit über die Tiefe des Felsens unter der Oberfläche und auf welche Länge der Tunnel in Schutt zu liegen kommt, zu verschaffen, wurden 2 Bohrlöcher abgeteuft bei km 2,700 und 2,870, um ebenfalls wenn möglich Klarheit über das Tracé zu erhalten. Das Abteufen dieser Bohrlöcher wurde am 16. September 1908 begonnen und dauerte bis 12. Mai 1909. Beide Bohrlöcher wurden bis auf die Tiefe von 220 m unter die Oberfläche, somit zirka 30 m unter die Tunnelsohle getrieben. Das erste Bohrloch erreichte den Felsen, das zweite noch nicht.

Es wurden von der Generalbauunternehmung zur Festsetzung, ob das Umgehungstracé ganz in Felsen zu liegen kommt, im Staldi und beim Brandhubel 2 Schächte abgeteuft mit Sondierstollen und im Kanderlauf Schürfungen gemacht.

Der erste Schacht bei zirka km 4,800 vom N. P. des Umgehungstracés und 55 m links davon, erreichte bei 41,5 m Tiefe den Gasterngranit in der Höhe von 1455 m ü. M.

Der zweite Schacht wurde 500 m weiter flussaufwärts im Brandhubel abgeteuft und erreichte den Granit in der Tiefe von 24,5 m, in der Höhe von 1565 m ü. M. Von dieser Schachtsohle aus wurde ein Stollen in der Richtung N-E-N vorgetrieben, der auf 100 m den Granit wieder erreichte. Man konnte daher die Mulde aus der Neigung des Felsens an 2 Punkten rekonstruieren und gelangte dazu, dass der Tunnel im neuen Tracé noch zirka 250 m vom Granit überlagert sei. Somit ergab sich, dass der Tunnel des Umgehungstracés ganz in Felsen zu liegen kommt, dass bei Beibehaltung des alten Tracés man sich auf eine Schuttstrecke von zirka 300 m Länge gefasst zu machen habe. Es gelangte daher das Umgehungstracé zur Ausführung, das aber eine Verlängerung des Tunnels von zirka 800 m ergab.

# C. Vergleichung mit den andern Alpentunnels.

Zum Schluss folgt eine Vergleichung der Arbeiten der verschiedenen Alpentunnels, soweit sie durch die Veröffentlichungen erhältlich waren.

Es folgen zuerst die Installationsanlagen:

## Installationen.

Überbaute Fläche der Gebäude in $m^2$:

| | Mont Cenis | Gotthard | Arlberg | Simplon | Lötschberg |
|---|---|---|---|---|---|
| Für Maschinen, Werkstätten, Bureaux | 13210 | 4840 | 4070 | 6390 | 6910 |
| Für Magazine, Stallungen, Remisen . | 6660 | 1720 | 1700 | 2670 | 4040 |
| Für Wohlfahrtseinrichtungen für die Arbeiter . . . . . . . . . | 950 | 1130 | 1990 | 3310 | 4300 |
| Für Beamten- und Arbeiterwohnungen | 9380 | 2100 | 3480 | 5980 | 9230 |
| Für Zubereitung von Baumaterialien | — | — | — | — | 1980 |
| Total | 30200 | 9790 | 11240 | 18350 | 26460 |
| Erforderliche Kraft . . . . . . . . | 1120 W | 2600 W | 2500 W | 4200 W | 4000 E |
| Dampfreserve . . . . . . . . . | — | — | — | 440 | — |

## Leitungen (ohne die Leitungen der Kraftanlagen).

| | | Mont Cenis | Gotthard | Arlberg | Simplon | Lötschberg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Luftdruckleitungen . . . . . | m | — | 31100 | 5700 | 18490 | 31780 |
| Durchmesser der Luftleitungen . | mm | — | 50-200 | 220 | 30-50 | 50-169 |
| Wasserdruckleitungen . . . . | m | — | — | 5000 | 41220 | — |
| Durchmesser der Leitungen . . | mm | — | — | 70-80 | 20-200 | — |
| Wasserdruckleitung für die Abkühlung und Spülung der Bohrlöcher . . . . . . . | m | — | — | 5600 | 15530 | 12820 |
| Durchmesser der Leitungen . . | mm | — | — | 42 | 253 | 115 |
| Wasserableitung . . . . . . | m | — | — | — | 2300 | — |
| Durchmesser der Leitung . . . | mm | — | — | — | 250-400 | — |
| Ventilationsleitungen, primär . . | m | — | — | 10550 | Parallelstollen | Wetterscheidewände |
| Ventilationsleitungen, sekundär . | m | — | — | — | 750 | 6230 |
| Durchmesser der Leitungen . . | mm | — | — | 300-500 | 200-460 | 450-580 |

## Transportmittel.

| | | Mont Cenis | Gotthard | Arlberg | Simplon | Lötschberg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Geleise . . . . . . . . . | m | — | 23740 | — | 43660 | 37930 |
| Spurweite . . . . . . . . . | m | — | 1,00 | — | 0,50-1,45 | 0,60-0,75 |
| Weichen . . . . . . . . . | St. | — | 44 | — | 154 | 130 |
| Dampfmaschinen . . . . . . | | — | 4 | — | 9 | 10 |
| Luftmaschinen . . . . . . . | | — | 4 | — | 8 | 10 |
| Luftreservoirwagen . . . . . | | — | 4 | — | — | — |
| Kastenwagen . . . . . . . | | — | 360 | — | 650 | 720 |
| Plattformwagen . . . . . . | | — | 80 | — | 60 | 54 |
| Arbeiterwagen . . . . . . . | | — | — | — | 40 | 59 |

Die Kosten der Tunnels, sowie die Leistungen in denselben gehen aus der folgenden Zusammenstellung hervor:

| | Mont Cenis | Gotthard | Arlberg | Simplon | Lötschberg |
|---|---|---|---|---|---|
| Länge des Tunnels . . . . . | 12820 | 14920 | 10250 | 19770 | 14535 |
| Kosten der Installationen . . . | 4,600000 | 5,000000 | 3,572200 | 8,400000 | 7,000000 |
| Kosten des Unterbaues . . . . | 65,400000 | 53,543000 | 36,912500 | 58,120000 | 43,289300 |
| Total | 70,000000 | 58,543000 | 40,484700 | 66,520000 | 50,289300 |

| | Mont Cenis | Gotthard | Arlberg | Simplon | Lötschberg |
|---|---|---|---|---|---|
| Kosten pro m Tunnel . . . . | 5460 | 3910 | 3950 | 3365 | 3459 |
| Kosten der Installationen pro m . | 360 | 335 | 348 | 425 | 481 |
| Kosten des Unterbaues pro m . | 5100 | 3575 | 3602 | 2940 | 2978 |
| Ganze Bauzeit in Monaten . . | 164 | 111 | 47 | 87 | 66 |
| Leistung pro Monat m . . . . | 78 | 134 | 218 | 227 | 220 |
| Leistung pro Tag m . . . . . . | 2,6 | 4,47 | 7,27 | 7,57 | 7,33 |
| Totaler Ausbruch m³ . . . . | 796000 | 847670 | 783480 | 981756 | 836858 |
| Totale Mauerung m³ . . . . . | 221000 | 156000 | 286840 | 244716 | 186542 |
| Total Ausbruch und Mauerung . | 1017000 | 1003670 | 1070320 | 1226472 | 1023400 |
| Totale Schichtenzahl im Mittel pro Tag . . . . . . . . | 2200 | 2580 | 2730 | 2692 | 2010 |
| Schichten pro m Tunnel . . . | 846 | 570 | 389 | 355 | 274 |
| Schichten pro m³ Ausbruch Mauerung . . . . . . . | 10,6 | 8,5 | 3,74 | 5,74 | 3,89 |
| Mittleres Ausbruchsprofil . . . | 62,1 | 56,80 | 76,50 | 49,60 | 57,60 |
| Mittleres Mauerungsprofil . . . | 17,2 | 10,50 | 28,00 | 12,40 | 12,80 |
| Mittleres Profil Ausbruch und Mauerung . . . . . . . | 79,3 | 67,30 | 104,50 | 62,00 | 70,40 |

Beim Lötschberg-Tunnel wurde die wirkliche Länge nach dem Umgehungstracé in Rechnung gestellt, währenddem die ursprüngliche Länge zirka 13735 m betrug.

Eine Vergleichung zwischen Simplon- und Lötschbergtunnel gibt bei den Tunnelarbeiten folgende Resultate; bei den andern Alpentunnels fehlen die erforderlichen statistischen Daten.

| | Simplon | Lötschberg |
|---|---|---|
| Schichten beim Sohlstollen . . . . . . . . . . . . . | 257890 | 135780 |
| » » Parallelstollen . . . . . . . . . . . . . | 218840 | — |
| » » Vollausbruch inklusive Firststollen . . . . . | 2,814850 | 1,770420 |
| Schichten des gesamten Ausbruchs . . . . . . . . . . | 3,291580 | 1,906200 |
| » der Mauerung . . . . . . . . . . . . . . . | 630280 | 430300 |
| » der andern Arbeiten im Tunnel . . . . . . . . | 879760 | 393240 |
| Schichten total der Arbeiten im Tunnel . . . . . . . . | 4,801620 | 2,729740 |
| Schichten der Arbeiten ausserhalb des Tunnels . . . . . . | 566420 | 229310 |
| Schichten Betrieb der Installationen . . . . . . . . . . | 669300 | 366920 |
| Schichten Unterhalt der Installationen . . . . . . . . . | 218330 | 106240 |
| Schichten ausserhalb des Tunnels . . . . . . . . . . . | 1,454050 | 702470 |
| Total Schichten innerhalb und ausserhalb des Tunnels . . . | 6,255670 | 3,432210 |
| Schichten beim Bau der Installationen . . . . . . . . . | 311620 | 237070 |
| Schichten bei Beschaffung der Baumaterialien . . . . . . | 458030 | 309130 |
| Total | 769650 | 546200 |

| | Simplon | Lötschberg | |
|---|---|---|---|
| Schichten pro m Ausbruch . . . . . . . . . . . . . | 166 | 131 | |
| Schichten pro m Mauerung . . . . . . . . . . . . . | 32 | 30 | |
| Schichten für die anderen Tunnelarbeiten pro m . . . . | 44 | 27 | |
| Schichten für die äusseren Arbeiten pro m . . . . . . | 74 | 48 | |
| Totale Schichtenzahl pro m . . . . . . . . . . . . . | 316 | 236 | |
| Schichten pro m³ Ausbruch . . . . . . . . . . . . . | 3,35 | 2,28 | ohne andere Arbeit im Tunnel und ausserhalb |
| Schichten pro m³ Mauerung . . . . . . . . . . . . . | 2,57 | 2,31 | |
| Andere Schichten im Tunnel pro m³ Aushub und Mauerung | 0,72 | 0,38 | |
| Andere Schichten ausserhalb pro m³ Ausbruch und Mauerung | 1,18 | 0,69 | |
| Schichten pro m³ Ausbruch und Mauerung . . . . . . . | 5,08 | 3,36 | inkl andere Arbeit im Tunnel und ausserhalb |
| Schichten pro m³ Ausbruch ohne Sohlstollen . . . . . . | 6,18 | 3,45 | inkl. andere Arbeit im Tunnel und ausserhalb |

Beim Lötschberg-Tunnel waren beim Vollausbruch pro m³ 2,38 Schichten erforderlich, währenddem beim Simplon 4,28 abzüglich der anderen Arbeiten im Tunnel und ausserhalb demselben. Es haben nun aber noch Korrektionen einzutreten, weil der Schichtenaufwand sich nicht ohne weiteres vergleichen lässt, sofern im Lötschbergtunnel ein sehr ergiebiger Gebrauch der Maschinenbohrung im Vollausbruch gemacht wurde und ferner die Ausbruchsmethode grossenteils ohne Firststollen durch Aufschlitzen ausgeführt wurde.

Beim Lötschbergtunnel wurde ³/₄ des Vollausbruches maschinell betrieben und ¹/₄ von Hand, beim Simplon wurde alles mit Handbetrieb ausgebrochen. Die Reduktion bei den Mineurschichten ergibt mit Maschinenbohrung 40 % gegenüber der Handbohrung im Vollausbruch.

Wäre der Lötschbergtunnel ganz maschinell ausgebrochen worden, so wäre 0,15 Mineurschichten pro m³ erspart.

Beim Simplontunnel hätte man beim Vollausbruch dagegen 0,80 Schichten pro m³ erspart.

Am Lötschberg wurden von den 14535 m Ausbruch nur 6270 m mit Firststollen ausgebrochen und 8265 vermittelst Aufschlitzen; wäre die Aufschlitzmethode überall im Felsen angewendet worden, wäre eine weitere Ersparnis bei den Mineur- und Handlangerschichten von 0,20 pro m³ erzielt worden. Die Ersparnis macht bei der Aufschlitzmethode bei Vollausbruch gegenüber der vom Firststollen 15 % aus.

Beim Simplontunnel wurde ebenfalls auf der Nordseite auf 3900 m kein Firststollen getrieben, sondern aufgeschlitzt. Wäre der Vollausbruch nach der Firstschlitzmethode ausgeführt worden, so hätte man pro m³ 0,42 Schichten erspart.

Werden die Resultate nunmehr auf der gleichen Basis verglichen, d. h. bei ausschliesslicher Maschinenbohrung und Aufschlitzen für den Vollausbruch würde sich ergeben:

beim Lötschberg Schichten pro m³ Ausbruch ohne Sohlstollen 2,03,
beim Simplon Schichten pro m³ Ausbruch ohne Sohlstollen 3,06.

Am Simplon erforderte der Ausbruch 50 % mehr Schichten. Da der Simplontunnel eingeleisig ausgeführt wurde und der Vollausbruch bei kleinerem Profil im Verhältnis teurer zu stehen kommt, würde sich für einen zweigeleisigen Simplontunnel eine weitere Schichtenreduktion ergeben. Das macht sich namentlich bei den andern Arbeiten im Tunnel und den äussern Schichten bemerkbar, welche dieselben bleiben, ob ein- oder zweigeleisiger Tunnel ausgeführt wird.

Wäre der Simplontunnel zweigeleisig erstellt worden, so hätten sich diese Schichten pro m³ von 1,90 auf 1,40 pro m³ reduziert, welche Schichtenzahl beim Lötschberg 1,07 beträgt. Beim Simplon ist daher eine Schichtenvermehrung von 30 % gegenüber dem Lötschberg eingetreten, wegen der höheren Gesteins- und Wassertemperatur, die namentlich eine grössere Schichtenzahl bei der Handarbeit erfordert, infolge der vermehrten Installationen zur Temperaturerniedrigung des Gesteins und Wassers und infolge eines 36 % längeren Tunnels.

Beim Lötschberg-Tunnel wurde durch die möglichst ergiebige Verwendung der Maschinenbohrung mit Bohrhämmern die Hauptersparnis gegenüber den andern Alpentunnels erzielt. Bei der Mauerung haben wir zwischen Simplon und Lötschberg keine erheblichen Differenzen. Bei künftigen grössern Tunnelbauten bildet die Ersetzung der Handarbeit durch Maschinenarbeit das wichtigste Moment zur Ersparnis der Baukosten. Die andern Schichten in und ausserhalb des Tunnels können durch eine gute Organisation der Arbeiten noch weiter vermindert werden, wobei die Arbeiten nach einem festgesetzten Programm auszuführen sind, namentlich soll der Transportdienst nach einem Fahrplan möglichst regelmässig eingerichtet werden. Das Ausbruchsmaterial soll möglichst vollständig transportiert werden zur Räumung der Arbeitsstellen, wobei die Wagen voll zu laden sind.

Man sieht wie successiv seit dem Bau des Mont Cenis-Tunnels der Schichtenaufwand abgenommen hat, vom Mont Cenis zum Gotthard 2,00 pro m³, vom Gotthard zum Simplon 2,76 und vom Simplon zum Lötschberg 1,80 m³. Es ist das der Verwendung wirksamerer Sprengmittel, der Vervollkommnung der Bohrmaschinen und der grösseren Verwendung der mechanischen Arbeitsmittel zuzuschreiben.

# Die geologischen Verhältnisse des Lötschbergtunnels.

Die geologischen Verhältnisse des Lötschbergtunnels haben bis dahin in der Literatur erst einmal eine zusammenfassende Darstellung erfahren. Es geschah dies in der geologischen Expertise über den Lötschberg- und Wildstrubeltunnel durch *Edm. von Fellenberg*, *E. Kissling* und *H. Schardt* (Mitteilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern, 1900). Dagegen wurden einzelne Teile des Tunnelgebietes zu verschiedenen Malen in anderm Zusammenhange zum Gegenstande besonderer Untersuchungen gemacht. Es möge hauptsächlich hingewiesen werden auf die geologischen Aufnahmen von *Edm. von Fellenberg:* «Geologische Beschreibung des westlichen Teiles des Aarmassives» (Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, Lfg. XXI, Bern, 1893). Von besonderer Wichtigkeit für die Deutung der Geologie des Tunnelgebietes ist die Mitteilung von *A. Buxtorf* und *E. Truninger:* «Über die Geologie der Doldenhorn-Fisistockgruppe und den Gebirgsbau am Westende des Aarmassivs» (Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Basel, 1909). Auf diese Arbeit soll weiter unten noch im besondern eingegangen werden. Die Kreidestratigraphie erfuhr darin eine wesentliche Umdeutung durch die Einreihung des Bänderkalkes («Tschingelkalk») in das Hauterivien. Ungleich wichtiger, besonders für die Beurteilung der während des Tunnelbaues anzutreffenden geologischen Verhältnisse waren die hier zum ersten Male vertretenen Ansichten über den Deckenbau der Balmhorn-Doldenhorn-Blümlisalpgruppe.

Die petrographischen Verhältnisse des Gasterentales haben eine eingehendere Berücksichtigung gefunden in der Inaugural-Dissertation von *E. Truninger:* «Geologisch-petrographische Studien am Gasterenmassiv (Mitteilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern, 1911).

Geologisch-kartographisch wurde das Lötschberggebiet dargestellt durch *Edm. von Fellenberg* auf Blatt XVIII der geologischen Karte der Schweiz 1 : 100000. Der südwestliche Teil dieser Gegend, das Balmhorngebiet, wurde von *M. Lugeon* geologisch aufgenommen (vergl. Carte géologique des Hautes-Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander 1 : 50000).

In diesen Veröffentlichungen sind die Grundlinien der Geologie des nähern und fernern Tunnelgebietes schon festgelegt. Eine weitere Ergänzung und Vertiefung hat nun aber die geologische und petrographische Erforschung des Gasterenmassives erfahren durch die geologischen Oberflächen- und Tunnelaufnahmen, welche *E. Hugi* und *E. Truninger* im Auftrage der Berner Alpenbahngesellschaft während des Tunnelbaues ausgeführt haben.

Im folgenden soll über die Hauptergebnisse der geologischen Aufnahmen im grossen Lötschbergtunnel kurz berichtet werden. Diesen Mitteilungen kann jedoch nur der Charakter einer vorläufigen, orientierenden Mitteilung zukommen, denn das reichhaltige Material, das die Durchbohrung des Gebirges geliefert hat, konnte bis jetzt noch nicht vollständig bearbeitet werden; besonders steht die detaillierte petrographische Untersuchung der grossen, im Tunnel geschlagenen Gesteinsserien zu einem guten Teile noch aus. Spätere eingehendere Veröffentlichungen werden diesen kurzen Bericht zu ergänzen haben.

In geologischer Hinsicht zerfällt das Längsprofil des Tunnels in vier Zonen, die sich in nachbezeichneter Weise von Norden nach Süden aneinander schliessen:

1. km 0,0 bis km 3,970, gemessen vom Nordportal: Sedimente der Doldenhorn-Blümlisalpgruppe. Länge der Zone km 3,970.
2. km 3,970 vom Nordportal bis km 3,580, gemessen vom Südportal: Massiv des Gasterengranites. Länge der Zone km 6,986.
3. km 3,297 bis km 3,580, gemessen vom Südportal: Sedimentkeil des Lötschentales. Länge km 0,283.
4. km 0,0 bis km 3,297 vom Südportal: Zone der kristallinischen Schiefer. Länge km 3,297. (Vergl. auch das geologische Profil auf Tafel Nr. II.)

Im folgenden wird es sich darum handeln, eine kurze Beschreibung der Einzelerscheinungen dieser vier Zonen zn geben. Bevor das geschieht, mag es zweckmässig sein mit wenigen

Worten auf die geologischen Beziehungen hinzuweisen, in welchen diese verschiedenen Teile des Gebirges zu einander stehen:

Die für unsere Darstellung in Betracht fallenden Teile der Berner und Walliser Alpen werden in ihren Zentralmassen gebildet aus zwei lakkolithenartigen Granitstöcken: dem Massiv des Gasterengranites und dem südlich davon gelegenen Granitrücken der Bietschhornkette. Die erste Granitmasse erreicht ihren Kulminationspunkt im Petersgrat, die andere besitzt ihre höchste Erhebung in der steil aufragenden Pyramide des Bietschhornes.

Das geologische Alter und die genauen Altersbeziehungen dieser beiden Granitstöcke kennen wir nicht, da die für solche Bestimmungen notwendige Primärhülle des Tiefengesteins durch die nachfolgenden geologischen Vorgänge entweder abgetragen oder aber in ihrer ursprünglichen Natur sehr stark verändert wurde. Soweit wir das aus den vorhandenen Aufschlüssen ersehen können, sind von der ursprünglichen Sedimentbedeckung des Gasterengranites nur noch wenige, geringfügige Reste erhalten geblieben. Die mächtige Schieferhülle des Bietschhornprotogins dagegen vermochte in grösserer Vollständigkeit der Abtragung zu widerstehen, jedoch sind ihre Gesteine im Kontakt mit dem Granit so stark umgewandelt, dass wir an die Bestimmung ihres geologischen Alters nicht mehr denken können. Die vom Granit vollständig injizierten Schiefer bilden jetzt noch die beidseitigen Flanken der Bietschhornkette. In früherer geologischer Zeit lagen diese kristallinen Schiefer mit mehreren hundert Meter Mächtigkeit auch *über* dem Bietschhorngranit und über ihnen ruhten noch die Sedimente der Trias-Jura- und Kreideformation und die Ablagerungen der ältern Tertiärzeit.

Eine vollständige Veränderung erlitten diese ursprünglichen Lagerungsverhältnisse durch die tertiäre Alpenfaltung. In einer grossen liegenden Falte wurden die Schiefer und Sedimente, die über der Bietschhornkette und deren westlichen Fortsetzung gelegen hatten, nach Norden überschoben. Der Mittelschenkel der Falte wurde vollständig ausgequetscht, der Gewölbeschenkel entwickelte sich zur Decke. Diese glitt nach Norden weiter vorwärts und legte sich über den, der Bietschhornkette vorgelagerten, der Faltung Widerstand leistenden Gebirgskern des Gasterengranits. Da dieser schon vorher durch Denudation von seiner primären Bedeckung fast vollständig entblösst war, so kam die überfaltete und überschobene Decke zum Teil direkt auf den Granit zu liegen, während die Sedimente der Gewölbebiegung auf der Nordseite des Gasterenmassives auf der nach Norden abfallenden Denudationsfläche hinunterglitten. Der Südflanke des Gasterengranitstockes wurden die tiefer liegenden Teile dieser Deckfalte d. h. die kristallinen Schiefer des Lötschenthales (Zone der kristallinen Schiefer) und der stark reduzierte sedimentäre Muldenkern (Sedimentkeil der Südseite) angepresst. (Vergleiche die schematische Skizze der Doldenhorndeckfalte auf Seite 35 und das geologische Längenprofil des Lötschbergtunnels auf Tafel Nr. II und Photographie auf Tafel Nr. XVII und Profilserie auf Tafel Nr. XIX.)

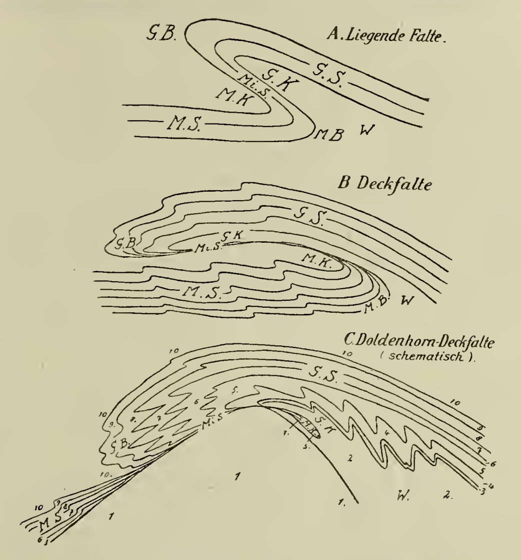
Das ist in kurzen Worten die Vorstellungsweise, zu der die geologischen Aufnahmen im Lötschberggebiete und die Aufschlüsse im Tunnel geführt haben. Ihr entsprechen die oben erwähnten vier Zonen des Tunnelprofiles. Auf die nähere Begründung dieser Auffassung kann hier nicht eingegangen werden. Zur bessern Veranschaulichung derselben möge die beigefügte Photographie dienlich sein, welche die Aussicht vom Gipfel des grossen Hockenhornes gegen Osten darstellt. (Vergleiche Tafel Nr. XVII.)

Auf der Südseite des Petersgrates lehnen sich die steil gestellten, nach Süden einfallenden kristallinen Schiefer dem firnbedeckten Granitrücken des Petersgrates an. Im Tschingelhorn, Breithorn und Mutthorn gehen die Schiefer, sich allmählich gegen Norden verflachend, in nahezu horizontale Lagerung über. Auch die aus dem Firn herausragenden höchsten Kammteile des Petersgrates selbst bestehen aus horizontal liegenden kristallinen Schiefern, welche zum Teil direkt dem Granit aufruhen, zum Teil aber noch von einer wenig mächtigen Dolomit- und Malmschicht unterlagert sind. Dasselbe tektonische Bild tritt uns auch in der westlichen Fortsetzung des Petersgrates im Birghorn, im Sackhorn und im grossen und kleinen Hockenhorn entgegen und ähnliche Verhältnisse würde uns auch die Höhe des Lötschenpasses zeigen, wenn nicht die Erosion die obersten Gebirgsteile allzusehr abgetragen hätte. Die kristallinen

Schiefer sind hier vollständig entfernt, dagegen sind noch Reste der Trias- und Jurasedimente erhalten geblieben, die in schwach geneigter Lagerung auf dem Granite liegen.

Verfolgen wir die Lagerungsverhältnisse vom Petersgrate aus in nördlicher Richtung, so sehen wir im Mutthorn die kristallinen Schiefer sich nach Norden einsenken und nördlich des Kanderfirnes wird uns der Gebirgsbau in deutlichster Weise vor Augen geführt durch die mächtigen, vorwiegend jurassischen Sedimentschichten, welche in der Doldenhorn-Blümlisalpgruppe pultförmig gegen Norden einfallen. Sie stellen die Stirne der nach Norden übergelegten Deckfalte dar.

Auch der landschaftliche Charakter unseres Gebietes scheint in grossen Zügen, wenn in demselben auch die geologischen Detailerscheinungen nicht zum Ausdruck kommen, der oben gegebenen Auffassung der Tektonik zu entsprechen. Selbst dem Nichtgeologen, der vom Balmhorn oder vom grossen Hockenhorn aus die grossartigen Rundsichten betrachtet, die sich hier bieten, macht es den Eindruck, als ob über den Gasterengranit ein grosses Gewölbe sich gelegt hätte, das in der Längsrichtung vom Lötschenpass bis zum Tschingelhorn tief aufgesprengt ist und von dem in den beiden Hockenhörnern, im Sackhorn, im Birghorn und im




G. K. = Gewölbekern, G. S. = Gewölbeschenkel, G. B. = Gewölbebiegung, Mi. S. = Mittelschenkel, M. K. = Muldenkern, M. S. = Muldenschenkel, M. B. = Muldenbiegung, W. = Wurzel.

1. Gasterengranit, 2. kristalline Schiefer, 3. Trias, 4. Lias, 5. Opalinusschiefer, 6. Mittl. und Ob. Dogger, 7. Malm, 8. Berrias, 9. Valangien und Hauterivien, 10. Eocän.

(Nach Buxtorf und Truninger, Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft Basel, 1909.)

Kamme des Petersgrates die Reste der Gewölbebiegung noch erhalten geblieben sind. Die Schenkel des Gewölbes scheinen sich beidseitig dem Granitrücken anzuschmiegen.

Diese tektonische Auffassung des Landschaftsbildes kommt in ausgezeichneter Weise zur Darstellung auf dem offiziellen Plakat der Berner Alpenbahn von A. Gugger. Dass aber in Wirklichkeit die geologischen Verhältnisse sich nicht so einfach gestalten, wie es auf den ersten Blick der Fall zu sein scheint, das haben wir weiter oben gesehen.

Wer ferner auf der Lötschenpasshöhe, wo die Überschiebungsfläche zwischen der Sedimentdecke und dem Gasterengranit direkt freigelegt ist, die intensive mechanische Umwandlung der Gesteine gesehen hat, der wird sich dem Eindrucke nicht verschliessen können, dass hier eine mächtige Gebirgsmasse über den widerstehenden Granitrücken hinweggeschoben worden ist. (Vergl. Abb. 1 auf Tafel Nr. XVIII.) Andererseits haben aber auch die Tunnelaufnahmen zur Genüge gezeigt, dass durch die gewaltigen Gebirgsbewegungen die Masse des Gasterengranites selbst in dem durchbohrten Gebirgsteile in stärkste Mitleidenschaft gezogen worden

ist. Sie hat eine weitgehende innere Zertrümmerung erfahren; die in ihr auftretenden tektonischen Störungen weisen fast ausnahmslos auf eine von Süden nach Norden gerichtete Druckwirkung hin.

Wir erachteten diese allgemein orientierenden Ausführungen als notwendig, um die Tatsachen, die im Nachfolgenden angeführt werden sollen, besser verstehen und vor allen Dingen unter sich in Einklang und Zusammenhang bringen zu können. Es wird sich nun darum handeln, in kurzer Übersicht über die wichtigsten geologischen Ergebnisse zu berichten, welche der Bau des grossen Lötschbergtunnels geliefert hat.

Die folgenden Mitteilungen sind so angeordnet, dass sie sich vorerst auf die Beobachtungen der Nordseite und dann auf diejenigen der Südseite des Tunnelprofiles beziehen. Die Grenze zwischen Nord- und Südseite ist gegeben durch die Durchschlagstelle des Sohlstollens, das heisst durch den Punkt km 7,353, gemessen vom Nordportal, oder km 7,183 vom Südportal.

# I. Nordseite (Kandersteg).

## 1. Sedimente der Doldenhorn-Blümlisalpgruppe.

(Länge der Zone 3970 m.)

Die ältern Profildarstellungen, zu denen auch diejenige des offiziellen geologischen Gutachtens über den Lötschbergtunnel von *Edm. von Fellenberg*, *E. Kissling* und *H. Schardt* zu rechnen ist, stellten die heute auf dem Granit auflagernden Sedimentmassen als das ursprüngliche Deckgebirge des Massives dar. Darnach sollten unmittelbar über dem Granit Trias, Lias, Malm, Kreide und schliesslich Tertiär folgen. Im Gegensatz hiezu liess eine nähere Untersuchung des Kontaktes zwischen dem Granit und den unmittelbar aufruhenden Sedimenten erkennen, dass Lias und Dogger vollständig fehlen und nur Trias in Form spärlicher Dolomitfetzen auftritt. Meist ruht direkt über dem Granit oder Dolomit, soweit an den beidseitigen Gehängen des Gasterentales beobachtet werden kann, ein heller, teilweise marmorisierter Malm von geringer Mächtigkeit, der in Verbindung mit den liegenden Spitzfalten in der Südwand der Fisistöcke und in der Nordwand des Tatlishorns zu setzen ist. Erst höher am Berghang treten die Doggerschichten auf, die in ihren Faltenkernen Lias einschliessen. Die Sedimentkomplexe des Balmhorns und der Doldenhorn-Blümlisalpgruppe bedeuten somit, wie oben schon angedeutet wurde, die sekundär gefaltete Stirne einer *Deckfalte*, die wurzellos auf dem Granite oder den Triassedimenten aufliegt. Während aber die Dogger- und Malmfalten des Balmhorns sich noch in Verbindung mit ihrer südlich gelegenen Wurzelregion setzen lassen (vergl. Tafel Nr. XIX), fehlt den Sedimenten der Doldenhorn-Blümlisalpgruppe jeglicher Zusammenhang mit ihrer Basis. Einzig der schmale Sedimentkeil, der sich von der Westwand der Jungfrau durch alle nördlichen Nebentäler des Lötschentales bis zum Lötschenpass hinzieht, stellt noch einen zwischen die kristallinen Schiefer und den Granit eingeklemmten Rest der ehemaligen Verbindung der Deckfalte mit ihrem einstigen Wurzelgebiete südlich des Bietschhornmassives dar. Die auf diesen triasischen und jurassischen Keilsedimenten aufruhenden Schieferkuppen des Hockenhorns, Tschingelhorns und Breithorns hätten wir, wie das oben ebenfalls schon erwähnt wurde, als Teile des kristallinen Kernes dieser Ueberfaltungsdecke zu deuten.

Es ist klar, dass diese gegenüber den frühern Ansichten wesentlich veränderte Auffassung von der Tektonik des Lötschberggebietes von einschneidender Bedeutung für die geologische Prognose beim Bau des Tunnels sein musste. Der Befund bestätigte die Ansicht vom Deckenbau dieses Gebietes, sowohl durch das Fehlen von Lias und Dogger auf der Nordseite, wie durch die Begegnung des Sedimentkeiles auf der Südseite. Im Weitern muss aber betont werden, dass die durch den Tunnelbau gewonnenen Tatsachen nur unbefriedigend mit dem übereinstimmte, was nach geologischer Voraussicht zu erwarten gewesen wäre.

### Geologischer Befund.

Der Sohlstollen der Nordseite durchfuhr vorerst die am Fusse der westlichen Steilwand des Fisischafberges liegende Bergschutthalde, die grösstenteils aus Gehängeschutt mit vereinzelten mächtigen Bergsturzblöcken (Hauterivien-Kieselkalke) bestand.

Bei km 0,080 traf der Sohlstollen erstmals auf anstehendes Gestein, einen dunklen, schwach spätigen *Oehrlikalk* (Oberes Berrias), welcher die Fortsetzung der über der Schutthalde aufsteigenden hellgrauen Kalkwand darstellt. Die Schichten zeigten 30°—35° südliches Einfallen.

Bei km 0,119 änderte sich ziemlich unvermittelt der Gesteinscharakter. An Stelle des kompakten Kalkes traten dünnblättrige, tonige Berriasschiefer, die den *Oehrlimergeln* entsprechen dürften. Vereinzelte massige Kalkbänke wechsellagerten mit den Schiefern. Zum Unterschied von dem gleichmässig feinen Bruch des Schiefers waren die Kalkbänke häufig spätig oder oolitisch.

Ueberall machten sich starke Störungen in dieser Gesteinspartie geltend. Streichen und Fallen variierte infolgedessen fast von Meter zu Meter. Vorherrschend war anfangs schwaches Südfallen, später schwaches Nordfallen. Vielerorts durchschnitten meist nordfallende Verwerfungsklüfte die Stollenwand, welche von lehmigem Gesteinsmaterial erfüllt oder von weissem Kalkspat wiederum ausgeheilt waren. Glänzende graphitische Rutschflächen (Harnische) waren auf Schritt und Tritt zu beobachten. Mit dem weitern Vortrieb, d. h. mit der Annäherung an den Malm machte sich die mechanische Beeinflussung des Gesteins durch zunehmende Kalkspatisierung und teilweise brecciöse Ausbildung der Stollenwand noch schärfer bemerkbar. Bestimmbare Fossilien fanden sich sowohl im Oehrlikalk wie in den Oehrlimergeln keine vor; einige kalkspatisierte Korallenstöcke waren die einzigen faunistischen Ueberreste, die aber für eine nähere stratigraphische Einteilung nicht in Frage kommen konnten.

Ein hellgrauer, gutgeschichteter *Tithonkalk* (km 1,420 bis km 1,480) trennte die Kreidesedimente von dem nun folgenden *obern Malm* oder *Hochgebirgskalk*. Im Handstück zeigte sich zwischen dem Hochgebirgskalk und den Berriasschiefern kaum ein Unterschied. Der Hochgebirgskalk war massiger und liess infolgedessen den scharfkantigen Bruch besser hervortreten. Der einförmige Gesteinscharakter des Hochgebirgskalkes ergab für die geologische Aufnahme in dieser Stollenpartie keine bemerkenswerten Beobachtungen. In den obern Horizonten (Korallenkalk?) fanden sich hin und wieder kalkspatisierte Durchschnitte deformierter Fossilreste (Korallen, Nerineen, kleine Zweischaler) vor.

Im Hochgebirgskalk erfolgte am 24. Juli 1908 2 Uhr morgens, unmittelbar nach dem Abbrennen der Vorortsschüsse bei km 2,675 ein *Wasser-* und *Schwimmsandeinbruch* in den Sohlstollen, der diesen in weniger als einer Viertelstunde auf eine Länge von zirka 1500 m grösstenteils zuschüttete. Die Masse des eingebrochenen Materials mag schätzungsweise gegen 6000 m³ betragen. Es war in der Hauptsache Flussand und Flusskies, vorwiegend kristallinen Ursprungs (Gasterengranit); der verhältnismässig geringe sedimentäre Anteil bestand aus Trümmerchen jurassischer und triasischer Gesteine. Im grossen und ganzen entsprach die Zusammensetzung des eingebrochenen Materials derjenigen des von der Kander im Gasterenboden abgelagerten Geschiebes. Von grössern eingebrochenen Gesteinstrümmern sind als besonders bezeichnend für den Ort ihrer Herkunft zu nennen: gerundete Gasterengranite, Blöcke von verkittetem Gehängeschutt, ausschliesslich aus eckigen, lose verkitteten Malmsplittern bestehend, gleichfalls verfestigte Sand- und Kiesbrocken, Gesteinsstücke von Dolomit und Rauhwacke, eine grössere Platte kristallinen Schiefers usw.

Wie aus diesen Gesteinsfunden geschlossen werden muss, war der Sohlstollen in das früher viel tiefere, jetzt durch Sand, Kies, Gerölle und Gehängeschutt wiederum ausgefüllte Gasterental hinausgetreten. Dabei wurde die Katastrophe hauptsächlich vergrössert durch das miteingebrochene Grundwasser, das dem Material eine grosse Beweglichkeit verlieh und wohl als die Hauptursache für den Verlust der zahlreichen Menschenleben zu bezeichnen ist. Es scheint aus der Menge des eingebrochenen Materials und aus der kurzen Dauer des Verlaufs der Katastrophe hervorzugehen, dass sehr wahrscheinlich nicht nur der grösste Teil der Stollenbrust, sondern auch das Dach über dem Vororte miteingebrochen sein dürfte.

Im Gasterentale hatte sich gleich nach dem Einbruch, ungefähr senkrecht über dem Vororte, eine elliptische Doline gebildet mit einem grössten Durchmesser in der Richtung der Tunnelaxe von 110 m und einer grössten gemessenen Tiefe von zirka 2 m. Die anfängliche Tiefe liess sich nicht mehr feststellen, da unmittelbar nach der Bildung des Einbruchtrichters die

Kander in diesen eindrang und die Vertiefung rasch mit Baschschutt wiederum teilweise ausfüllte.

Die in der Folge angestellten zwei Sondierbohrungen im Gasterenboden, die zur Untersuchung des bestehenden Tracés nötig waren, wurden über der Einbruchstelle sowohl, wie 170 m südlich davon abgebohrt und traf man beim ersten in der Tiefe von 210 m den Felsen. Das ehemalige Bett der Kander muss somit hier mindestens 250 m tiefer liegen als der heutige Talboden. Dagegen lässt sich weiter talaufwärts beim Brandhubel, in einer Distanz von 2,5 km von der Einbruchstelle weg, bereits wieder anstehendes Gestein in der Flussohle beobachten. Aus diesen Feststellungen geht hervor, dass die Kander auf der bezeichneten Strecke einstmals ein kaskadenartiges Gefälle besessen haben muss, das ungefähr mit ihrem heutigen Gefälle in der Kanderklus verglichen werden könnte. Talabwärts muss natürlicherweise die Schuttauffüllung noch tiefer hinabreichen, da nach den Erscheinungen beim Einbruch (Auftreten von verkitteter Gehängeschuttbreccie, Fehlen von Grundmöränenmaterial), nach den Erfahrungen bei den Sondierbohrungen (Fehlen von Grundmoränenmaterial) und nach den Beobachtungen an der Oberfläche jegliche Beweise für die Annahme eines durch Glazialerosion übertieften Taltroges fehlen.

Die Bildung des heutigen Talbodens in diesem untern. Teil des Gasterentales wurde verursacht durch einen Bergsturz vom Areli, unterhalb des Fisischafberges, der die schmale Kanderklus sperrte und dadurch zur Ablagerung des Kandergeschiebes führte.

Das Ergebnis der nach der Katastrophe im Gasterenboden angestellten Sondierbohrungen hatte zur Folge, dass eine östliche *Tracéverlegung* vorgenommen wurde, nach welcher der Tunnel das Gasterental in der Gegend von Staldi-Brandhubel queren sollte.

Durch die Tracéverlegung ab km 1,203 wiederholten sich vorerst die beim Malm bereits früher erwähnten geologischen Verhältnisse. Das Fallen der Schichten blieb stets ein schwach nördliches.

Der Malm endigte bei km 3,482.

Nach den auf beiden Seiten des Gasterentales zu beobachtenden Lagerungsverhältnissen am Granitkontakte und nach der dort anzutreffenden Neigung der Granitoberfläche stand zu erwarten, dass sich im Tunnel gegen km 3,5 eine schmale Zone triasischer Sedimente einstellen würde und damit der baldige Eintritt in das kristalline Massiv erfolgen müsse. Diese Voraussicht erfüllte sich nur teilweise. Wohl traten ziemlich genau mit dem bezeichneten Stollenorte bei km 3,482 die *triasischen Sedimente* auf, aber die weitern, vom Sohlstollen erschlossenen geologischen Verhältnisse bildeten kein vergleichbares Analogon zu den Beobachtungen an der Oberfläche.

Der Übergang vom Malm zur Trias erfolgte, wie zu erwarten war, unter starkem Wassererguss (zirka 200 Sekundenliter). Zugleich wurde ein Gesteinsbrei von der Sohle aus bis auf halbe Stollenhöhe emporgetrieben.

Von der Kontaktstelle weg (km 3,482) bis km 3,504 erschienen die einzelnen Triasschichten als lose, grobsandige Trümmermassen, die keine bestimmte Aufeinanderfolge mehr erkennen liessen. Zur Hauptsache bestand die Trias aus gelbem oder grauem Dolomit, stark zerfallener Rauhwacke, zuckerkörnigem Gips und Anhydrit, roten und grünen Talkschiefern (Quartenschiefern) und grünlichweissem Quarzit. Ob die schmale Zone glattflächiger Kalkschiefer, die inmitten der Triassedimente auftrat, gleichfalls zur Trias zu zählen ist, konnte nicht mit Sicherheit festgestellt werden.

Zu einem ganz unerwarteten Ereignis wurde der unmittelbar nach den Triasschichten bei km 3,551 erfolgte Eintritt in die *tertiären Flyschschiefer*. Der Gesteinswechsel kam derart unerwartet, dass man vorerst über die Zuteilung dieser Schichten nicht im Klaren war. *Aug. Buxdorf* und *H. Preiswerk*[1]) wiesen diese Sedimente auf Grund der petrographischen Aehnlichkeit mit den Karbongesteinen des Wallis dem *Karbon* zu. Nachdem auch wir anfangs karbonisches

[1]) Geologische Prognose für den nördlichen Teil des neuen Tracé des Lötschbergtunnels, bis km 8 vom Nordportal Verhandlung der naturforschenden Gesellschaft in Basel 1910, S. 240.

Alter angenommen hatten, wurden wir später, hauptsächlich durch die Beobachtungen von *P. Beck*[1]) und durch die Aufschlüsse, die wir auf der Nordrampe zu studieren Gelegenheit hatten, bestimmt, diese Tonschiefer dem tertiären Wildflysch zuzuweisen. Zu einer nähern Begründung unserer Ansicht fehlt uns hier der Raum.

Der Trias-Tertiärkontakt war scharf gekennzeichnet durch den Farbenunterschied zwischen dem weissen Gipsband und den schwarzen Tonschiefern des Flysches.

Gegenüber den Triassedimenten zeigten die Flyschschiefer diskordante Lagerung, wenn auch unmittelbar am mechanischen Kontakte ein paralleler Verlauf der Schichten scheinbare Konkordanz erkennen liess.

Mit dem Stollenvortrieb wurde die Farbe der anfänglich tiefschwarzen, graphitglänzenden Schiefer eine hellere. Gleichzeitig stellten sich Zwischenlagen schmaler Quarzsandstein- und Quarzitbänke ein. Die meisten dieser Bänke waren jedoch durch den gewaltigen Druck und den Schub der überlagernden Massen in linsenförmige Stücke auseinander gerissen worden. So waren von km 3,715 bis km 3,720 einzelne Zwischenlagen in lauter kleine perlschnurartig angeordnete Quarzitknauer aufgelöst, die von Schiefermaterial umflasert, ganz das Aussehen eigentlicher Konglomerate hatten. Nach km 3,720 setzten die Einlagerungen an einer Verwerfung plötzlich aus.

Die Zone des Wildflysches endigte bei km 3,735. Ihr folgte ein zweiter *Triaskomplex*, der nach den Beobachtungen im Firststollen als die direkte Fortsetzung des ersten zu betrachten ist. Die Triassedimente überlagern demnach mantelförmig die Flyschschiefer. Am anormalen Kontakt von Tertiär mit Trias wiederholten sich die gleichen Erscheinungen, die wir bereits beim erstmaligen Zusammentreffen dieser beiden Schichtensysteme konstatieren konnten: Schiefrigerwerden des Gesteins, Zunahme des Graphitgehaltes und scheinbare Konkordanz der Schichten. Das Gipsband, das auch hier das Liegende der Triasserie bildete, war teilweise durch Anhydrit ersetzt. Bei km 3,785 setzte die Gips-Anhydritschicht durch Schleppung nach unten abbiegend, diskordant an einem ziemlich massigen, hellen Quarzit ab. Bei km 3,830 wurde dieser von dem gleichen, an der Sohle wiederum aufsteigenden Gips-Anhydrit abgelöst. Die Diskordanz zwischen dem Quarzit und dem Gips-Anhydritband mag in der ganz ungleichen Plastizität und Gleitfähigkeit beider Gesteinsmassen begründet sein; tektonische Bedeutung dürfte ihr nicht zukommen.

Von km 3,830 weg setzte sich die Trias vorwiegend aus Gips, Anhydrit, grauem Dolomit und grauem Tonschiefer zusammen. Auffallenderweise fehlt diesem zweiten Triaskomplex die Rauhwacke vollständig.

Als Abschluss der Trias und damit der Sedimente überhaupt erschien unmittelbar über dem kristallinen Gebirge, mit dessen Oberfläche wie verschweisst, ein grünlichweisses Quarzitband, das von rosaroten Gipsinfiltrationen durchzogen war.

Bei km 3,970 trat der Sohlstollen in das *kristalline Massiv* ein.

Überblicken wir die seit dem Malm-Triaskontakte durchfahrene Strecke, so müssen wir die höchst auffällige Tatsache konstatieren, dass statt der, an der Oberfläche zu beobachtenden schmalen Triaszone, auf eine Distanz von nahezu 500 m teils Trias, teils Flyschschiefer durchbohrt werden mussten. Eine Erklärung für diese auffallende Erscheinung ergibt sich aus der Konstruktion des Oberflächenprofiles des Granites nach den zu Tage und im Tunnel beobachteten Böschungsverhältnissen. Darnach haben wir keine gleichmässige Neigung der Granitoberfläche anzunehmen, wie etwa nach dessen mehr oder weniger regelmässigen Abdachung im Gasterental oder Lötschental vermutet werden könnte. Wie der Aussenrand der nördlichen Gneiszone, so zeigt auch der Nordrand des Gasterenmassivs, wenn auch kaum in so bedeutendem Ausmasse, durch tektonische Vorgänge bedingte Unregelmässigkeiten in seiner Oberflächengestaltung. Durch den Druck und Schub der Sedimentdecken wurden die Triasschichten von ihrer starren Unterlage abgeschürft und in die Tiefe gestossen, wo sie sich in der schützenden Mulde unterhalb der vorspringenden Granitoberfläche zusammenstauten.

---

[1]) Die Niesen-Habkerndecke und ihre Verbreitung im helvetischen Faziesgebiet, Eclogae Helvet., 1912, S. 132 ff.

Eine letzte Bewegung des Massivs führte dann zu einer weitern Ueberschiebung von dessen Nordrand und zu einer teilweisen Einwicklung des Tertiärs (Flyschschiefer) durch die bereits abgeschürften Triassedimente.

## 2. Massiv des Gasterengranites.

(Km 3,970 vom Nordportal bis km 3,580, gemessen vom Südportal. Länge der Zone 6986 m.)

### Geologischer Befund.

Die Grenze zwischen der Zone 1 und 2 ist gegeben durch den Stollenpunkt km 3,970, gemessen vom Nordportal. Jedoch ist der Übergang zwischen den Sedimenten und dem eigentlichen Granit nicht scharf, da das kristalline Massiv eine stark metamorphe Randzone aufweist, die einen allmählichen Übergang zwischen beiden Gebirgsgliedern bedingt. Ein kleiner Rest von Sedimenten unbekannten geologischen Alters befindet sich in primärem Kontakte mit dem Eruptivgesteine. Durch Kontaktmetamorphose haben erstere eine Umwandlung erlitten, welche ihnen eine kristalline Beschaffenheit zuerteilt hat. Anderseits aber wurden auch durch den Granit die Sedimente aufgeschmolzen und dieser ist dadurch selbst in seiner ursprünglichen Struktur und seinem chemischen Bestande verändert worden. Durch diese Vorgänge wurde zwischen beiden Gesteinsarten, Erruptivgestein und Sediment, in petrographischer Hinsicht ein allmählicher Ausgleich geschaffen.

Die Sedimentserie hat abgeschlossen mit einem grünlichen und rötlichen, von Gipsinfiltrationen durchsetzten Quarzit. Von km 3,970 ab treten kristalline und glimmerführende Quarzite auf; eine Schichtung lässt sich an ihnen nicht mehr wahrnehmen. Bei km 3,973 sind diese Quarzite durch die kontaktmetamorphe Einwirkung des Granites zu einem ausgesprochenen *Glimmerquarzit* geworden. Am Tunnelorte km 3,982 folgt diesem letzteren Gesteine wieder mit allmählichem Übergange ein stark umgewandelter *Quarzporphyr*. Zwischen km 3,980 und km 3,982 wird also erst die eigentliche Eruptivmasse des Gasterenmassives erreicht. An ihrem Übergange sind sowohl Eruptivgestein wie Sediment kontaktmetamorph und auch mechanisch stark verändert, so dass eine sichere Bestimmung des geologischen Alters weder des einen noch des andern mehr möglich ist.

Der *Quarzporphyr*, mit dem also die eigentliche Eruptivmasse beginnt, entspricht einer *sauren Randfazies des Granits*. Er besitzt eine dichte Beschaffenheit, ist aber mechanisch stark zertrümmert und sekundäre chemische Umwandlungen haben zu einer weitgehenden Epidotisierung und Verquarzung des Gesteines geführt; sein Glimmer ist chloritisiert, und als Neubildung tritt in weiter Verbreitung Pyrit auf. Die porphyrische Randzone des Granites hält an bis km 3,998. Von diesem Punkte ab nimmt das Gestein eine deutliche Parallelstruktur an und die Anreicherung von dunklem Glimmer und Chlorit bringen in ihm den Habitus eines *Biotit-* und *Chloritgneises* hervor. Dieser geht bei km 4,040 über in feinkörnigen, massigen *Biotit-* und *Chlorithornfels*. Bei km 4,090 folgt eine *aplitische Ausbildung des Granites*, die zwischen km 4,120 und 4,140 und wieder zwischen km 4,193 und km 4,233 am ausgesprochensten entwickelt ist. Zum Teil schon in der erwähnten Tunnelstrecke, ganz besonders aber von ungefähr km 4 ab bildet sich in prachtvoller Weise eine *Resorptions-* und *Assimilationszone* des Granitmassives heraus. Der Stollen durchschlug bei seinem weitern Vortrieb ein Gebiet prachtvoll entwickelter *Schollenkontakte*, innerhalb welcher Zone unregelmässig gestaltete Brocken von *Biotithornfels* bald im aplitischen Granit schwimmen, bald umgekehrt der weisse *Aplit* in Gängen und Adern die dunklen Hornfelsschollen bis ins feinste Detail injiziert. Die feingebänderten Hornfelse nehmen im letzteren Falle oft einen gneisartigen Charakter an (Injektionsgneis). Sie lassen in selten schöner Ausbildung die intensivsten Injektionsfältelungen verfolgen. Weiter gegen die Mitte des Granitmassives zu wird die Auflösung der ins Magma hineingesunkenen Nebengesteinsbrocken eine vollständigere; die Schollen verschwimmen allmählig ganz im Granit. Die vollendete Assimilation dokumentiert sich in einem Basischerwerden des Granits. So wird von km 4,700 ab ein *biotitreicher Granit* mehr und mehr zum herrschenden Gestein und durch eine *pinitführende Granitvarietät* geht schliesslich die Randfazies des Granites in den eigent-

lichen Gasterengranit über, der durch eine grössere petrographische Gleichmässigkeit gegenüber der Resorptionszone sich auszeichnet und der vom Tunnel ungefähr bei km 5 erreicht wird.

Die vollkommene petrographische Homogenität des Granitlakkolithen wird aber *in seinem ganzen Querschnitte* gestört durch häufig auftretende *Aplit-* und *Quarzporphyrgänge:* Ein nahezu 4 m mächtiger Aplitgang setzt im Biotitgranit auf zwischen km 4,804 und km 4,808. Eine grössere *Quarzporphyrmasse* schaltet sich ohne scharfe seitliche Abgrenzung zwischen km 4,965 und km 5,035 dem Granite ein. Durch die Einwirkung des Gebirgsdruckes ist in dieser Zone der Quarzporphyr teilweise in dünnschiefrigen *Serizitschiefer* übergeführt worden (bei km 4,970, 4,980 und 5,020). Das Streichen der Schieferung dieser letztern verläuft N 24° O, das Fallen derselben beträgt 35° S.

Die Resorptionserscheinungen sind im Granite, wie oben erwähnt wurde, bis zu zirka km 5 bemerkbar. Zwar wurde zwischen km 5,665 und km 5,815 ein sehr *biotit- und plagioklasreicher Granit* (Diorit) angeschnitten. Seine basische Beschaffenheit ist aber jedenfalls nicht auf randliche Resorption, sondern auf magmatische Spaltung des granitischen Schmelzflusses zurückzuführrn.

In den zentralen Teilen des Granitmassivs weist der Granit selbst nur noch geringe petrographische Verschiedenheiten auf. Als vorrherrschende Varietät des Gesteines treffen wir den eigentlichen Gasterengranit, der in erster Linie gekennzeichnet ist durch die kristallographisch gut umgrenzten Blättchen eines tiefschwarzen, stark glänzenden Glimmers; sein Feldspat ist weiss und erscheint makroskopisch unzersetzt, frisch. Wie der Feldspat, so besitzt auch der Quarz eine milchig weisse Färbung. Bisweilen reichert sich der Glimmer in einzelnen rundlichen Konzentrationen an und bildet sogenannte «*basische Putzen*», die gewöhnlich einen Durchmesser von 5—10 cm aufweisen und sich unregelmässig im Gestein verteilen. Die normale Varietät des Gasterengranites ist vollkommen massig und wenig geklüftet. In den ihr zugehörenden Tunnelstrecken zeigt das Gestein Neigung zu *Bergschlägen* (km 5,510, km 5,780, km 6,800).

Dem frischen Granite fügen sich überall Partien eines Granites ein, der sich von der ersten Ausbildungsweise dadurch unterscheidet, dass der Glimmer seine glänzend schwarze Farbe verloren hat. Das tiefe Schwarz geht in einen Bronzeton oder bei weiterer Umwandlung in Kupferrot über; der Feldspat wird leicht grünlich getönt. Diese Abart des Granites ist ein Produkt sekundärer Zersetzung des Gesteines, deren erstes Stadium sie darstellt.

In stark klüftigem Granit und an Dislokationsruscheln ist die Zersetzung weiter fortgeschritten. Der Glimmer erscheint hier in graugrünen, feinschuppigen Chlorit übergeführt; der Feldspat wird getrübt und nimmt bei weiterer Zersetzung eine pulverige Beschaffenheit an, das Gestein wird quarzreicher. Solcher *Chloritgranit* hat meist nur eine beschränkte Verbreitung, er kennzeichnet überall die Pressungsstellen des Massivs; gewöhnlich finden an diesen Orten schwächere oder stärkere Wasserinfiltrationen in den Tunnel statt.

Der quantitativen Verbreitung nach steht der normale Typus des Gasterengranites weit voran. Es ist nicht möglich in dieser kurzen geologischen Übersicht alle die Stellen anzugeben, an welchen der Granit durch einen stärkern oder geringern Grad der Zersetzung sich auszeichnet. Bezüglich aller Einzelheiten muss hier hingewiesen werden auf das grosse Tunnelprofil im Masstab 1:2000, das von *E. Hugi* und *E. Truninger* der Berner-Alpenbahngesellschaft eingereicht worden ist.

Beim weiteren Stollenfortschritt zeigte sich die petrographische Gleichartigkeit des Lakkolithen noch oft unterbrochen durch das Auftreten von *Quarzprophyr* und *Aplit*, welche beiden Gesteine bald als unregelmässig begrenzte Einlagerungen nach den Seiten hin allmählich in den Granit übergehen, bald aber auch als scharf hervortretende Gänge von wechselnder Mächtigkeit im Granit aufsetzen. Der Verlauf dieser letztern ist meist unregelmässig, seltener gradlinig; ihr Streichen und Fallen hält sich an keine konstanten Werte. Der Quarzporphyr zeichnet sich fast immer aus durch eine deutlich hervortretende dünnplattige oder kubische Absonderung.

Grössere Intrusionen von *Quarzporphyr* fanden sich an folgenden Tunnelstellen: km 5,185 bis 5,187, 5,390—5,396, 6,055—6,070, 6,090, 6,121—6,133, 6,154—6,155, 6,186—6,192, 6,472, 6,481 und 6,565.

Seltener treten die *Aplite* auf: km 5,280—5,298, 6,103—6,104, 6,110—6,111, 6,995 und 7,033.

In tektonischer Hinsicht ist der Granit durch seine starke Klüftigkeit ausgezeichnet. Diejenigen Gebirgspartien, in welchen dieses Gestein vollkommen kompakt und kluftfrei ist, sind nicht allzuhäufig und im Vergleiche zu den Dimensionen des ganzen Massives immer nur auf relativ kurze Strecken aushaltend. Meistens ist der Granit von unregelmässig verlaufenden Kluftfugen durchsetzt. Selbst in den zentralsten Teilen des Massivs setzt die intensive Zerruschelung des Gebirges nicht aus. Kurz vor der Durchschlagstelle des Tunnels, d. h. zwischen km 7,100 und 7,200, wurden vom Stollen, das eine Mal auf eine Distanz von 16 m, das andere Mal sogar auf eine Entfernung von 77 m, weit klaffende, zum Teil wasserführende Dislokationsklüfte angeschnitten. Der Verlauf dieser beiden grossen Spalten ist ein verschiedener. Die eine derselben streicht mit konstantem Werte N 30° W und fällt mit 60° gegen W ein. Die andere folgt einer unregelmässigen Wellenlinie, hat aber im Mittel ein nord-südliches Streichen und fällt ebenfalls, aber mit wechselndem Winkel gegen Westen ein. Die 15—20 cm weit klaffenden Klüfte sind erfüllt von einem talkigen Zersetzungslehme des Granites, zum Teil auch mit einer granitischen Trümmerbreccie (Mylonit). Quarz und Kalkspat treten als Neubildungen auf.

Die weitgehende Zerruschelung des Gebirges lässt sich wohl erklären; sie kann nur eine Folge der grossen Deckenüberschiebung sein, welche in der mittleren Tertiärzeit in süd-nördlicher Richtung über den autochthonen Granitkern hinweggegangen ist. Auch die Südseite des Tunnels liess eine ebenso intensive Klüftung des Gebirges hervortreten.

## II. Südseite (Goppenstein).

Aus der oben skizzierten Uebersicht des geologischen Baues des Lötschberggebietes geht hervor, dass der Tunnel in seiner südlichen Hälfte 3 verschiedene Zonen des Gebirges zu durchqueren hat:

1. Die Serie der kristallinen Schiefer,
2. Den Sedimentkeil des Lötschentales und
3. Den südlichen Teil des Gasterengranit-Massives.

Der Stollen der Südseite schnitt zuerst das westliche Talgehänge des Lötschentales an, das sich mit steilem Böschungswinkel gegen Haselleh und Faldumalp hinauf zieht. Das Mundloch desselben lag 55 m hinter dem jetzigen Tunnelportal zurück, da der Tunnel zum Schutze der Bahn gegen Lawinen auf diese Distanz künstlich verlängert worden ist.

Von 0—28 m durchfuhr der Sohlstollen vorerst die Schutthalden, die sich dem Fusse des Steilgehänges anlehnen. Dieselben setzen sich zusammen aus bunt durcheinander gewürfelten und ineinander gestauchten Massen von *Bergschutt*, *Lawinenschutt* und *Moränenmaterial*.

Bei 28 m trat der Sohlstollen in das anstehende Gestein, d. h. in einen dünnschiefrigen, bröckligen *Serizitschiefer*. Die scharf ausgesprochene Schieferung zeigt steil südliches Einfallen (70°) und besitzt ein annähernd ost-westliches Streichen. In einzelnen Lagen erweist sich der Schiefer feldspatführend und quarzreicher; er nimmt ein gneisartiges Aussehen an und durch allmähliche Übergänge hindurchgehend wird er zum ausgesprochenen *Serizitgneis*. Wiederum ohne scharfe Grenze gehen die serizitführenden Gesteine von zirka km 0,122 ab über in dunkle Schiefer und Gneise, die an Stelle des Serizits vorherrschend Chlorit und Biotit enthalten. Es folgt im weitern Verlaufe des Tunnels ein bunter Wechsel von *Serizit- Chlorit- Biotit-Schiefern* und *Gneisen*, deren petrographische und mineralogische Mannigfaltigkeit bereichert wird durch das Auftreten von sekundär gebildeten *Quarz-* und *Kalkspatadern* und durch unregelmässig verteilte *Chloritnester*. Die Schiefer werden zum Teil auch Hornblende führend und enthalten dann Einlagerungen von grobkörnigem und strahligem *Hornblendefels* und von *Serpentinlinsen*. Überall wird diese ganze Schieferfolge durchsetzt von *Aplit-* und *Pegmatitinjektionen* und zu dem vielgestaltigen Wechsel der Gesteine gesellen sich noch feinkörnige bis dichte *Hornfelse*

und vereinzelte Lagen von Graphit führenden Schiefern hinzu. Zwischen km 0,915 und km 0,923 wurde vom Stollen eine *aplitische Zone* durchschlagen; mehrere grössere und kleinere Gänge des sauren Eruptivgesteins durchsetzen in konkordanter Lagerung die Schiefer (Streichen im Mittel N 50° O, Fallen 70° S). Je vollständiger die Biotit-, Chlorit- und Serizitschiefer von aplitischem Materiale durchdrungen werden, um so gneisartiger und massiger wird ihre Beschaffenheit. Dabei bilden sich die Feldspate oft in grossen und kristallographisch gut begrenzten Individuen aus; sie erreichen bisweilen Dimensionen von 1—2 cm und das Gestein erhält eine *porphyrische*, im Querbruch *flaserige* Beschaffenheit. Wo umgekehrt die glimmerartigen Mineralien sich anreichern, da können die Schiefer recht dünnschiefrig, *phyllitartig* werden. In extremen Fällen sinkt die Mächtigkeit der einzelnen Schieferlagen bis zu 1 und 2 mm herab. Mancherorts sind die Schiefer durch feine *alpitische Injektionen* ausgezeichnet gebändert.

Ein auffallender Wechsel der Gesteinsbeschaffenheit macht sich von km 1,500 an geltend: die Schiefer werden sehr serizitreich und dünnschiefrig; bei km 1,519 erweisen sie sich Graphit führend und von km 1,520 ab folgen *graphitreiche Tonschiefer* mit Einlagerung von Anthrazitlinsen und von km 1,522—1,523 tritt grobkörniger *Anthrazit* auf (Aschengehalt desselben 38,5 %). Zwischen km 1,522 und km 1,536 folgen wieder graphitreiche Tonschiefer mit Anthrazitknauern; von km 1,536 bis km 1,542 *Graphit führender Serizitschiefer*, der auf der Tunnelstrecke km 1,542—1,553 abgelöst wird durch *Serizit-Hornblendeschiefer*. Diese Graphitschiefer und Anthrazite gehören der Karbonformation an, sie sind also sedimentärer Natur und bilden eine muldenförmige Einlagerung in die kristallinen Schiefer. Der Verlauf dieser Karbonsynklinale ist gegeben durch das Streichen N 60° O und das Fallen 80—82° S. Die Schichten sind stark gepresst, zum Teil bis ins feinste Detail intensiv gefältelt.

In seinem weitern Verlaufe durchsetzt der Tunnel wieder dieselben *Chlorit- und Serizitschiefer* und *Chlorit- und Serizitgneise*, die schon vor der Karbonmulde angetroffen wurden. Auch hier sind sie wieder durchsetzt von zwischengelagerten *Hornblende-Schiefern* und *Aplitinjektionen*. Wo infolge der Gebirgsbewegungen sich starke mechanische Effekte geltend gemacht haben, wird der Aplit Serizit führend und bei stärkster Pressung geht er über in einen weissen, silberglänzenden *Serizit-Schiefer*. Einlagerungen massiger, feinkörniger bis dichter *Hornfelse* wiederholen sich häufig. Überall treten auch hier, wie auf der Nordseite, Dislokationsklüfte auf, welche die Schieferungsrichtung unter schiefem Winkel schneiden und meist einen unregelmässigen Verlauf haben; sie sind zum Teil klaffend und mit zertrümmertem Schiefermaterial oder mit talkigem Lehm ausgefüllt.

Von ungefähr km 2,500 an reichert sich in den Schiefern an Stelle der dunklen Glimmerarten mehr und mehr der silberglänzende Muskovit und der helle Serizit an. Ohne feste Grenze beginnt hier eine Zone von *Muskovit-Serizit-Schiefern*, die anhält bis zirka km 2,700. Bei km 2,616 setzt in den gneisigen Schiefern ein 8—10 m mächtiger *Pegmatitgang* auf. Solche Gänge wiederholen sich auf der nächstfolgenden Tunnelstrecke, wenn auch mit geringerer Mächtigkeit mehrfach. Der Pegmatit zeigt eine grosskristalline Ausbildung; die Feldspate erreichen Dimensionen von 3—4 cm und die Muskovitblätter besitzen nicht selten einen Durchmesser von 2 cm. Charakteristisch für einzelne dieser Pegmatite ist ihr Turmalingehalt. Eigentlicher Turmalinpegmatit tritt auf zwischen km 2,705 und 2,715 und ebenso bei km 2,745 bis 2,752. Analoge Pegmatitgänge wurden an der Oberfläche mehrerorts auch in andern Zonen der Schieferserie konstatiert (vergl. Abb. 3 Tafel XVIII).

Die Zone der kristallinen Schiefer schliesst ab mit einem vielfachen Wechsel von *Muskovit-Chlorit-Schiefern* und *-Gneisen*. Von km 3,280 ab erscheint das Gestein stärker gepresst. Es wird sehr dünnschiefrig und serizitreich und geht über in einen stark zerruschelten, talkigen *Serizitschiefer*, der in anormalem Kontakt mit der nächstfolgenden Zone des Gebirges, mit dem Sedimentkeil des Lötschentales, steht.

## 2. Sedimentkeil des Lötschentales.

In der eingangs erwähnten Arbeit von Aug. Buxtorf und E. Truninger wurde die Vermutung aufgestellt, dass die schmale Sedimentzone auf der Südseite tiefer hinabreichen dürfte, als in dem Profile des offiziellen Gutachtens angenommen wird. Tatsächlich durchschnitt denn

auch der Tunnel von km 3,297 bis km 3,580, also auf eine Distanz von annähernd 300 m, diesen Sedimentkeil.

Beim Eintritt in den Sedimentkeil stiess der Stollen vorerst auf einen Komplex *triasischer* Schichten, die in ihrer petrographischen Ausbildung so ziemlich den gleichaltrigen Schichten der Nordseite entsprechen. Auch die tektonischen Störungen liessen die gleichen Erscheinungen erkennen; die Schichten zeigten sich vielfach ineinander gepresst, verfältelt oder als Breccie ausgebildet. Diese dynamischen Veränderungen der Gesteine, sowie das Fehlen der Fossilien erschweren eine genauere und sichere Altersbestimmung derselben.

Nach km 3,320 erschienen *jurassische* Sedimente. Möglicherweise gehören die unmittelbar auf die Trias folgenden feinblättrigen Tonschiefer noch dem *Rhät* an. Sicher *liasischen* Alters dürften dagegen der graublaue Quarzsandstein und der nachfolgende sandige Spatkalk sein, während der graugrün gefärbte, cippolinartige Kalk vielleicht schon ins *Bajocien* zu stellen ist. Am mächtigsten von den Jurasedimenten ist die *Echinodermenbreccie des untern Doggers* vertreten.

Von km 3,509 bis km 3,520 durchfährt der Tunnel einen zweiten *Trias*komplex, der sich in der Hauptsache aus Dolomit-Anhydritbreccie, Anhydrit, Tonschiefer und Quarzit zusammensetzt.

Nach dieser zweiten Triaszone wiederholt sich der als *Rhät* (?) bezeichnete dunkle Tonschiefer und ebenso der *Echinodermenkalk des Bajocien.* Als letztes Glied der Jurasedimente und zugleich als Abschluss des Sedimentkeils folgte nach dem Dogger ein gutgeschichteter, homogener *Malmkalk* (km 3,548 bis km 3,580).

## 3. Südlicher Teil des Gasterengranit-Massives.

Bei km 3,580 wurde vom Tunnel die südliche Grenze des Granitmassives erreicht. Zwar tritt der Granit nicht sofort in seiner charakteristischen Ausbildung auf; vorerst traf der Stollen eine schiefrig ausgebildete Randfacies des Granites an, die nach ihrer petrographischen Beschaffenheit zum Teil grosse Ähnlichkeit zeigt mit den Schiefern, die vor dem Sedimentkeil durchschlagen wurden. In geologischer Beziehung hingegen haben die schiefrigen Gesteine, die dem Keile nachfolgen, eine ganz andere Stellung; sie sind dem Granit nicht durch die Gebirgsfaltung aufgeschoben, sondern wir müssen sie auffassen als primäre Schieferhülle, als schiefrige Randfacies des Granits.

Die Schieferserie, die vor dem Sedimentkeil durchschlagen wurde, gehört dem Kontaktbereich eines andern Granitmassives, demjenigen des Bietschhorngranites an. Sie befindet sich nicht mehr an primärer Lagerstätte, sondern ist dem Gasterengranit sekundär aufgeschoben. Bei dieser Überschiebung und Überfaltung der kristallinen Schiefer des Lötschentales wurden, wie oben bereits ausgeführt worden ist, die Sedimente als Muldenkern mitgefaltet, und der Muldenschenkel erlitt eine vollständige Auswalzung; deshalb ruht der Sedimentkeil jetzt direkt dem Gasterenmassiv auf. Es muss also der Kontakt zwischen diesen beiden Gebirgsteilen ein rein mechanischer sein. Das Gasterenmassiv beginnt mit einem dichten Quarzporphyr. Die Aufschlüsse im Tunnel haben gezeigt, dass die Grenze zwischen Malm und Quarzporphyr scharf ist. Der Übergang zwischen Sediment und Eruptivgestein vollzieht sich in der Weise, dass die sich berührenden Gesteine stark aneinander gepresst und zum Teil völlig miteinander verknettet sind. Losgerissene Stücke von Quarzporphyr sind hineingequetscht in den Kalk, und umgekehrt erscheinen Kalkbrocken in den Porphyr gepresst. Der Porphyr besitzt zum Teil ein fluidales, schlieriges Aussehen und der Kalk ist stark ausgewalzt.

Wie eben erwähnt wurde, ist die südliche Randzone des Gasterengranites zum Teil ausgebildet als Quarzporphyr; andererseits sind es biotit- und chloritreiche, deutlich parallel struierte oder flaserige Gesteine *(Biotit-Chlorit-Gneise),* welche diese Randfacies bilden und ihnen gesellen sich nach ihrem Mineralbestand sehr wechselnde Hornfelse *(Glimmerhornfelse)* hinzu. Die dunklen Biotitgneise sind vielfach durch aplitische und pegmatitische Injektionen hell gebändert oder die *Pegmatite* treten im Biotitgneise in Form von einzelnen Linsen auf. Auch hier fällt der Pegmatit bisweilen durch die gute Ausbildungsweise seiner Mineralgemengteile

auf. Die Feldspate nehmen Dimensionen von 3—4 cm, die Biotitblättchen solche von 4—5 cm an (km 3,650). Die Schieferung der deutlich parallel struierten Randfacies des Granites streicht im Mittel N 50° O und fällt 40—60° gegen Süden ein.

Je weiter der Tunnel in das Massiv des Gasterengranites eindringt, um so mehr treten die schiefrig ausgebildeten, glimmerreichen Resorptionsprodukte, welche die Randzone des Massives bezeichnen, zurück und an ihrer Stelle erlangen die sauren Spaltungsgesteine des Granites, das heisst die Aplite, Pegmatite und die Quarzporphyre eine weitere Verbreitung. Unter ihnen ist der *Quarzporphyr* das häufigste. Seiner petrographischen Ausbildung nach ist dieses Gestein vielfachen Schwankungen unterworfen. Bald tritt an ihm die Porphyrstruktur gut hervor, die Quarz- und Feldspateinsprenglinge und seltenere Biotitblättchen sind deutlich als Einzelkristalle entwickelt; sie erreichen Dimensionen von 3—4 mm und heben sich scharf ab von der feinkörnigen bis felsitischen Grundmasse. In andern Varietäten des Quarzporphyrs wieder ist diese letztere grobkörniger ausgebildet; die Einsprenglinge treten nach Zahl und Grösse zurück. Das Aussehen des Gesteines nähert sich demjenigen des normalen Granits. Ausgesprochene Fluidalstruktur ist häufig zu treffen, sie scheint wesentlich nur durch die primären Erstarrungsvorgänge, weniger durch sekundäre Druckeinwirkungen bedingt zu sein.

Aber auch vorherrschend mechanische Effekte sind am Quarzporphyr zum Ausdruck gekommen. Aehnlich wie das früher schon für die Aplite hervorgehoben wurde, so geht auch der Quarzporphyr an den Stellen starken Gebirgsdruckes in hellglänzenden *Serizitschiefer* über. Bei dieser Umwandlung widerstehen die rundlich körnigen Quarzeinsprenglinge oft der mechanischen und chemischen Umwandlung des Gesteines. Ihre ursprüngliche Form bleibt unverändert erhalten und die Körner werden dann von neu gebildetem Serizit umflasert. Der Serizitschiefer erlangt dadurch ein fein geknöteltes Aussehen. Wie in der nördlichen Hälfte des Massives, so zeichnet sich auch hier der Quarzporphyr gewöhnlich durch eine ausgesprochene kubische bis stengelige Absonderung aus. Die Hauptklüftung derselben streicht N 50° O und fällt mit zirka 70° gegen Süden ein, sie geht also der äussern Umgrenzung des Massives annähernd parallel und teilt das Gestein in scharf absetzende 10—20 cm mächtige Bänke. Diese Hauptklüftung wird durchschnitten von einem zweiten, weniger deutlich ausgesprochenen Klüftungssystem, das gegen N einfällt, und die erste Absonderungsrichtung unter nahezu rechtem Winkel schneidet. Eine dritte zu den beiden andern Klüftungsebenen ebenfalls senkrecht stehende Absonderung ist nur undeutlich ausgebildet und seltener zu konstatieren. Wo sie zurücktritt oder ganz fehlt, geht die kubische Absonderung in eine stengelige Klüftungsform über. Diese Cohäsionsminima sind im Gesteine oft so sehr ausgeprägt, dass dasselbe einen kubisch-bröckligen Bruch aufweist.

Dem Granit gegenüber ist der Quarzporphyr an den einen Stellen unscharf abgegrenzt; durch Aenderung der Struktur gehen beide Gesteine allmählig ineinander über. Das ist der häufigere Fall, seltener setzt der Porphyr im Granit in deutlich ausgesprochenen Gängen auf, so z. B. bei km 6,198. Dieser Gang hat eine Mächtigkeit von 1,5 m. Er streicht in annähernd ost-westlicher Richtung und fällt mit 72° gegen S ein. Ein weiterer Quarzporphyrgang von 80 cm Mächtigkeit durchsetzt mit ebenfalls südlichem Einfallen den Granit bei km 6,207. Alle die übrigen Quarzporphyrergüsse, die sich vom Granit meist nur mit unscharfer Umgrenzung abheben, können hier nicht im einzelnen erwähnt und beschrieben werden. Ihr Auftreten soll nur kurz durch folgende Zahlenwerte gekennzeichnet werden: km 3,700, 3,900—4,050, 4,180—4,210, 4,250—4,270, 4,340—4,485, 4,580—4,640, 4,760—5,030, 5,100—5,470, 5,700, 5,910, 6,100, 6,500, 6,710—6,730.

Viel seltener finden sich im Granit die *Aplitintrusionen*. Es wurden solche getroffen an folgenden Stollenpunkten: km 3,670, 4,440, 5,060 — 5,080 m. An dieser letztern Stelle ist der Aplit durch die Einwirkung des Gebirgsdruckes und durch sekundären Lösungsumsatz zum Teil übergeführt in einen dünnschiefrigen, silberweissen Serizitschiefer. Normaler Aplit tritt ferner auf bei km 5,270, 6,110, 6,174 und mehrere gegenüber dem Nebengestein scharf abgegrenzte *Aplitgänge* finden sich innerhalb der Tunnelstrecke von km 6,270 — 6,330. Ein solcher Gang setzt im Granit auf bei km 6,270. Er hat eine Mächtigkeit von 30 cm und streicht N 40° O bei einem Einfallen von 85° N. Andere grössere Gänge finden sich bei km 6,288 bis

6,307 und 6,315. In der Zone zwischen km 6,230 und 6,310 ist das Gebirge von mehreren Verwerfungsspalten durchsetzt. Das Ausmass und die Richtung dieser Verschiebungen lässt sich in übersichtlicher Weise an den Aplitgängen verfolgen, indem dieselben durch die Verwerfungslinien in zwei oder mehr Stücke zerschnitten werden. Die einzelnen Gangteile sind aneinander verschoben oder setzen bei mehrmaligem Bruch staffelförmig gegeneinander ab.

Aus den eben gemachten Angaben geht hervor, dass das Massiv des Gasterengranits auch in seiner südlichen Hälfte nicht eine petrographisch homogene Masse darstellt. Wohl bildet zwar, gleich wie das auf der Nordseite der Fall war, der Granit den Hauptbestand des Gebirges; aber seine Einheitlichkeit wird überall gestört durch das Auftreten entweder einer gneisigen resorptionsreichen Randfacies oder durch die weite Verbreitung der Quarzporphyre und die weniger häufig vorkommenden aplitischen Nachschübe. Die Anordnung dieser verschiedenen Faciesausbildungen des Granites ist aber nicht regellos, in ihr tritt eine gewisse Gesetzmässigkeit hervor. Wie das schon auf der Nordseite des Massives konstatiert wurde, so zeigt sich auch hier, dass je weiter wir vom Rande des Lakkolithen gegen das Innere desselben vordringen, in gleichem Masse die gneisige Ausbildung des Granites mehr und mehr zurücktritt. Die Quarzporphyrintrusionen nehmen an Häufigkeit und Ausdehnung ab und die porphyrische Struktur dieses Gesteines geht mehr in eine körnige über; die Gesteinsbeschaffenheit nähert sich allmählich derjenigen des eigentlichen Granites. Als Uebergangstypus zwischen Granit und Quarzporphyr tritt an wenigen Stellen ein Granitporphyr auf: einer granitisch-körnigen Grundmasse fügen sich kristallographisch gut ausgebildete, bis 2 cm lange Feldspateinsprenglinge und Biotitblättchen von 1—1,5 cm Durchmesser ein.

Der ausgesprochene Gasterengranit wurde vom Tunnel erreicht bei km 4,450. Von hier ab wird der petrographische Charakter des Gebirges viel einfacher. Zwar treten auch jetzt noch einzelne Quarzporphyr- und Aplitintrusionen auf, denn ihre Entstehung ist ja nicht bedingt durch äussere Einflüsse auf den erstarrenden Eruptivkörper, sondern sie sind eine Folge magmatischer Spaltung. Dieselben Spaltungsvorgänge lassen im Granit hie und da auch *glimmerreiche Schlieren* entstehen oder in lokaler Verbreitung treten in ihm, wie das schon auf der Nordseite konstatiert wurde, rundliche *basische Putzen* auf, die einen Durchmesser von 5—6 cm erreichen. Diesen kieselsäurearmen Spaltungsprodukten des granitischen Magmas muss, abgesehen von den aplitischen und porphyrischen Nachschüben, auch eine saure Ausbildung des Granites selbst gegenüber stehen. Solche feldspat- und quarzreiche, respektive glimmerarme Granitvarietäten haben eine weite Verbreitung.

Neben diesen primären konstitutionellen Faciesverschiedenheiten des Granites bestehen nun andere Ausbildungsweisen des Gesteines, deren Entstehung bedingt ist durch sekundäre Einwirkungen, durch den Einfluss mechanischer Vorgänge und durch die auf den Klüften des Gesteines zirkulierenden Lösungen.

In klüftigen Teilen des Granites wird der Glimmer ausgebleicht und chloritisiert, der Feldspat erscheint milchig getrübt; durch Infiltration findet eine sekundäre Verquarzung des Gesteines statt. Der normale Gasterengranit geht über in quarzreichen *Chloritgranit*. Die Klüfte und Spalten dieses Gesteines sind oft ausgeheilt mit Quarz und Kalkspat, seltener mit Epidot. In diesen klüftigen, sekundär umgewandelten Graniten treten auch heute noch gewöhnlich stärkere oder schwächere Wasserinfiltrationen auf.

Umgekehrt erweist sich der frische, unzersetzte, normale Gasterengranit fast frei von Klüftungen. Bei seiner massig kompakten Beschaffenheit finden die Spannungsdifferenzen, welche in den Felsmassen durch den Tunneldurchstich erzeugt werden, oft ihren Ausgleich in einer plattigen Ablösung des Gesteines parallel den Stollenwänden. Es entstehen die vom Tunnelbauer und vom Bergmann gefürchteten *Bergschläge*. Kürzere oder längere Zeit, nachdem der Vortrieb des Tunnels die schlagenden Felspartien erschlossen hat, lösen sich von den Stollenwänden, bisweilen unter lautem, pistolenähnlichem Knall, dünnschalige Platten los, die mit Wucht von der First, Ulmen oder Sohle wegspringen und deshalb nicht selten Veranlassung zu Unglücksfällen geben. Wo die Stollenwand eine Biegung macht, da trennt sich die Bergschlagplatte ebenfalls parallel dieser Krümmung los und sie ist mit demselben Radius gebogen, trotzdem ihre Dickendimension im Vergleiche zur Flächenausdehnung oft recht

gering ist. Im Stollen der Südseite wurden Granitplatten abgesprengt, deren Dicke bei einem Flächeninhalt von über 0,5 m² nur 2—3 cm beträgt. Die Mitte einer solchen gekrümmten Platte ist gegenüber den beiden Rändern auf eine Distanz von 50 cm um 10 cm kreisförmig emporgewölbt.

Über die Ursache der Bergschläge hat man viel diskutiert. Die herrschende Meinung geht dahin, dass es sich um einen plötzlichen und spontanen Ausgleich der Spannungen handle, die dadurch erzeugt werden, dass durch die Durchbohrung des Gebirges im Tunnelrohre der Gegendruck aufgehoben wird, während sich von aussen her der Gebirgsdruck auf die Tunnelwände weiter äussert. Schlagendes Gebirge wurde getroffen an folgenden Stollenorten: km 6,582, 6,600, 6,750, 6,815—6,850, 7,045—7,050.

Im letzten Teile der südlichen Tunnelsektion durchschlug der Stollen von km 6,672—6,675 eine Einlagerung von *Pinitgranit.* Man traf also auch hier diese fleckige Granitvarietät, welcher auf der Nordseite des Massives eine etwas weitere Verbreitung zukam. Es wird dieser Umstand deshalb hier noch im besondern hervorgehoben, weil er geeignet ist, die Einheitlichkeit der *zentralen Teile* des Granitmassives auf der Nord- und auf der Südseite noch deutlicher zum Ausdruck zu bringen. Die *Randzonen* des Granitlakkolithen dagegen weisen in ihren geologischen Verhältnissen in der petrographischen Ausbildung auf beiden Flanken des Massives wesentliche Differenzen auf. Es mögen hier die beidseitigen Unterschiede nochmals vergleichend einander gegenüber gestellt werden.

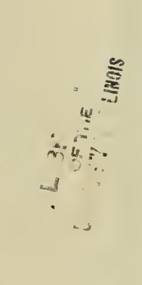
Auf der Südseite steht das Granitmassiv in direktem Kontakt mit einem geschieferten Malmkalk. Sediment und Eruptivgestein sind an ihrer Grenzfläche mechanisch ineinander verknetet, aber doch ist die Kontaktlinie scharf ausgebildet und die Sedimente haben keine Umkristallisation erfahren. Es handelt sich um einen rein mechanischen Kontakt, die Trias- und Jurasedimente sind dem granitischen Grundgebirge sekundär aufgefaltet und aufgeschoben worden. Die Randzone des Granitmassives ist zum Teil als Quarzporphyr entwickelt, andernteils haben primäre Resorptionsvorgänge zu einer gneisig-schiefrigen Gestaltung derselben geführt.

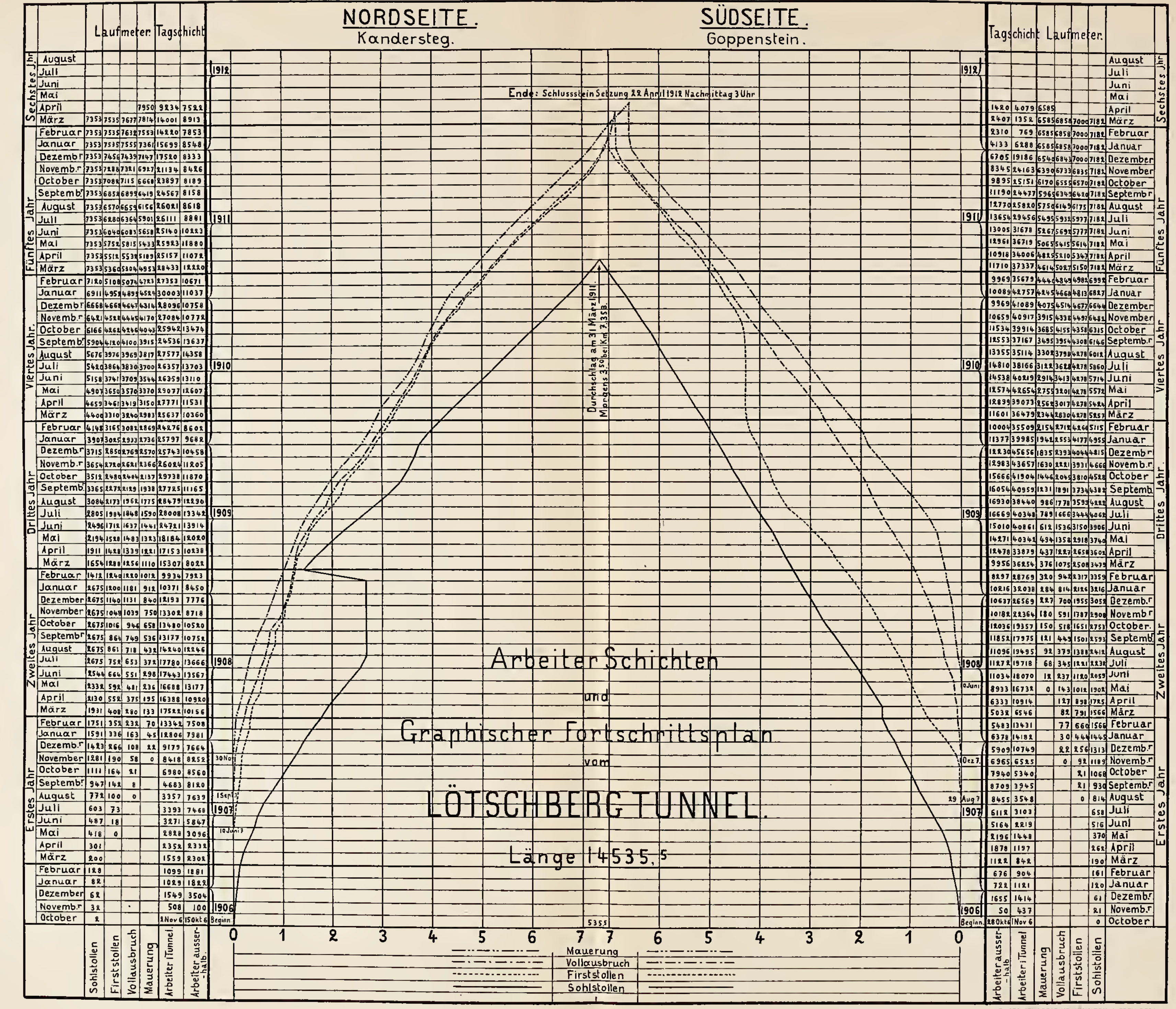
Auf der Nordseite des Massives befinden sich die Sedimente nur zu einem kleinen Teile noch in primärem Kontakt mit dem Granit. Sandsteine und Quarzite, deren geologisches Alter nicht mehr mit Sicherheit anzugeben ist, sind infolgedessen durch Kontaktmetamorphose umgewandelt worden in Glimmerquarzite. Nach aussen hin wurden diese letzten Reste kontaktmetamorpher Sedimente abgeschnitten durch eine scharf ausgebildete mechanische Abscherungsfläche des Gebirges. Die Aufschlüsse, welche der Tunnel geliefert hat, ermöglichen es daher nicht, weder auf der Nordseite noch auf der Südseite des Massives das geologische Alter des Gasterengranites zu bestimmen.

Eine der interessantesten petrographischen Tatsachen, welche die Durchbohrung des Gebirges erschlossen hat, war gegeben in der prachtvoll entwickelten endogenen Kontaktmetamorphose, welche auf der Nordseite des Massives auf eine Entfernung von 500—600 m zu konstatieren war. In klarster Übersichtlichkeit, wie man sie bei Beobachtung von natürlichen Aufschlüssen an der Erdoberfläche wohl kaum jemals antrifft, liessen sich die Resorptions- und Injektionserscheinungen auf die angegebene Distanz hin in ihrem allmählichen Ausklingen vom Rande gegen das Innere des Massives verfolgen.

Dieser kurze Bericht kann uns nur eine Übersicht der geologischen Verhältnisse des Lötschberggebietes und der beim Bau des grossen Tunnels getroffenen Aufschlüsse liefern. Die *eingehende Bearbeitung* des reichhaltigen Materiales, das im besondern der Tunnel zu Tage gefördert hat, wird noch manche interessante Einzelheit ergeben, welche für die wissenschaftliche Forschung im allgemeinen und für die geologisch-petrographische Erkenntnis des neu erschlossenen Teiles unseres Alpengebietes von Wert sein muss.

| Der Delegierte des Verwaltungsrates: | Der technische Direktor: |
| --- | --- |
| **Könitzer.** | **Dr. A. Zollinger.** |




NORDSEITE.
Kandersteg.
SÜDSEITE.
Goppenstein.
Laufmeter
Tagschicht
Ende: Schlussstein Setzung 22 April 1912 Nachmittag 3 Uhr
Durchschlag am 31 März 1911 Morgens 3 50 bei Km 7.353.
Arbeiter Schichten
und
Graphischer Fortschrittsplan
vom
LÖTSCHBERGTUNNEL.
Länge 14535.5
Erstes Jahr
Zweites Jahr
Drittes Jahr
Viertes Jahr
Fünftes Jahr
Sechstes Jahr
Mauerung
Vollausbruch
Firststollen
Sohlstollen
Arbeiter i Tunnel
Arbeiter ausserhalb
PHOTOLITHOGRAPHIE KÜMMERLY & FREY, BERN





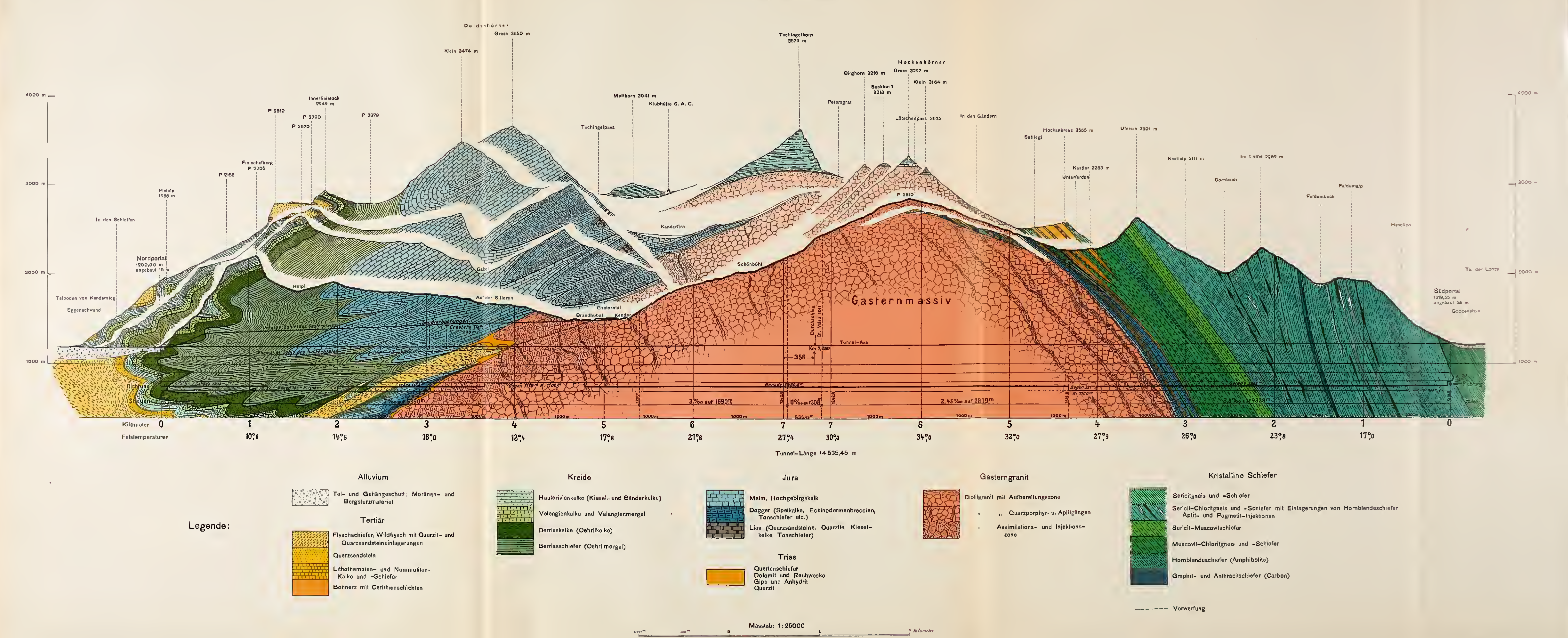


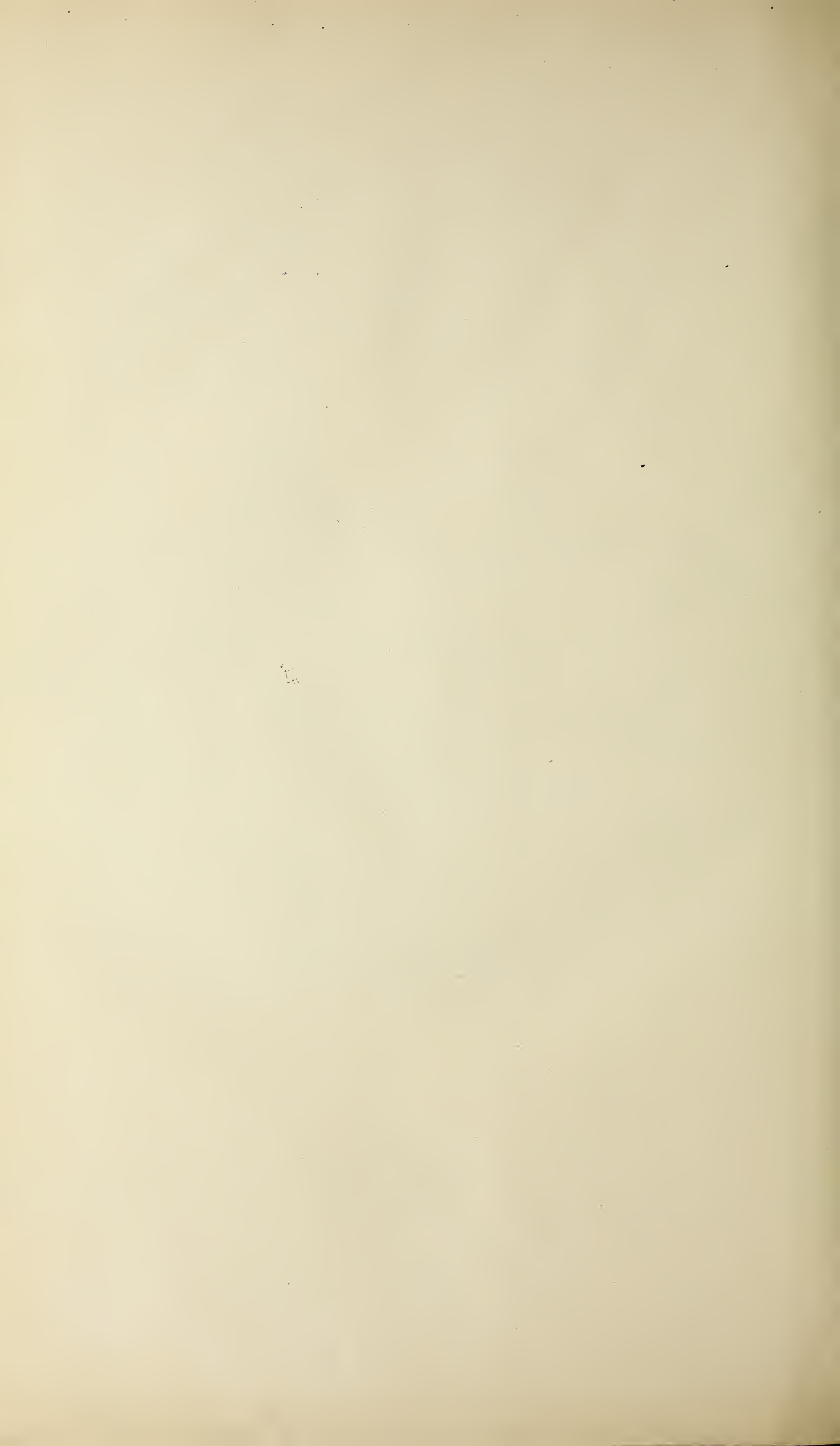
# Geologisches Längenprofil des Lötschbergtunnels

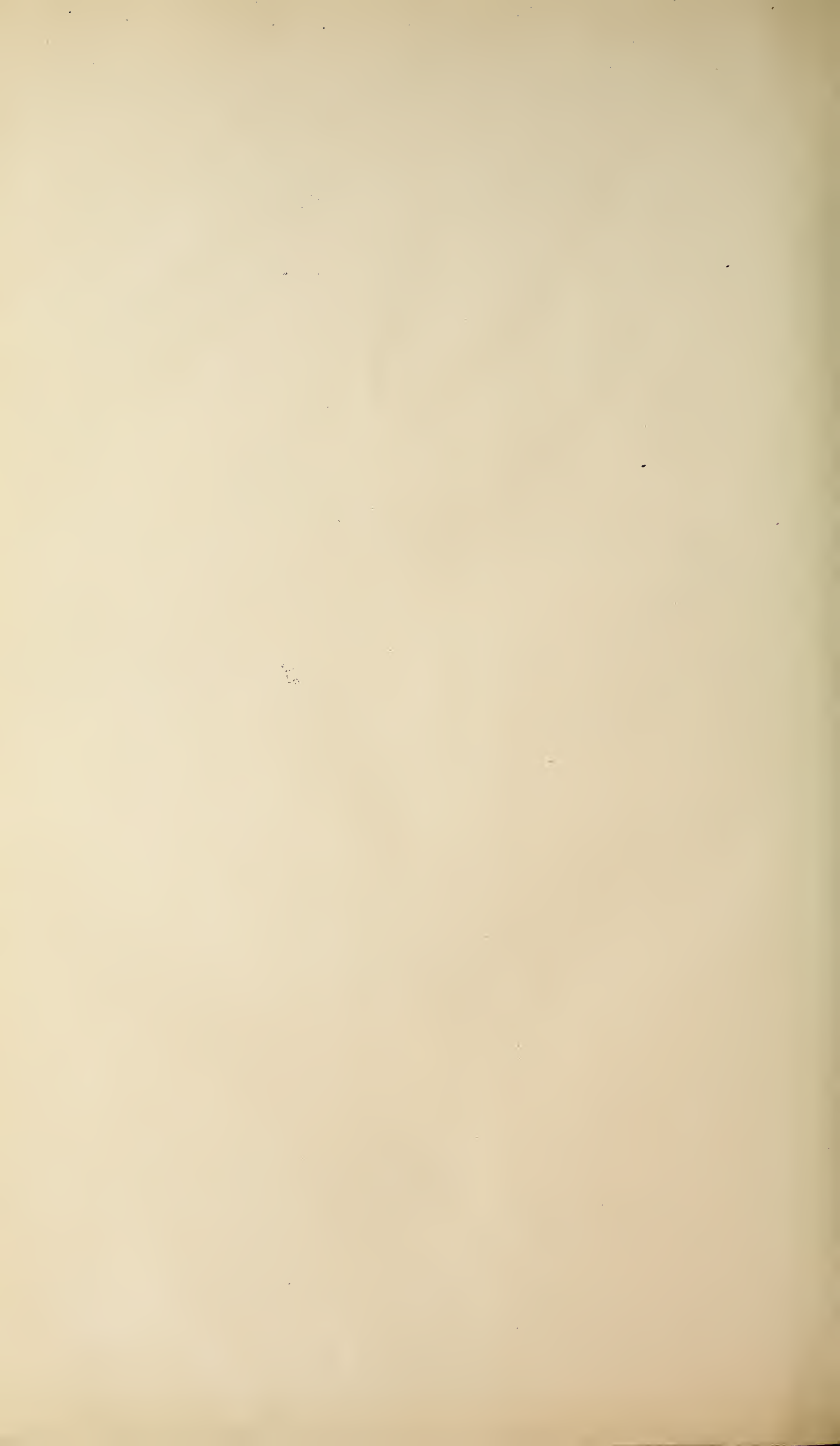
nach den Untersuchungen von Edm. von Fellenberg, Alfr. Troesch, Aug. Buxtorf und eigenen, im Auftrage der Berner Alpenbahngesellschaft ausgeführten Terrain- und Tunnel-Aufnahmen,

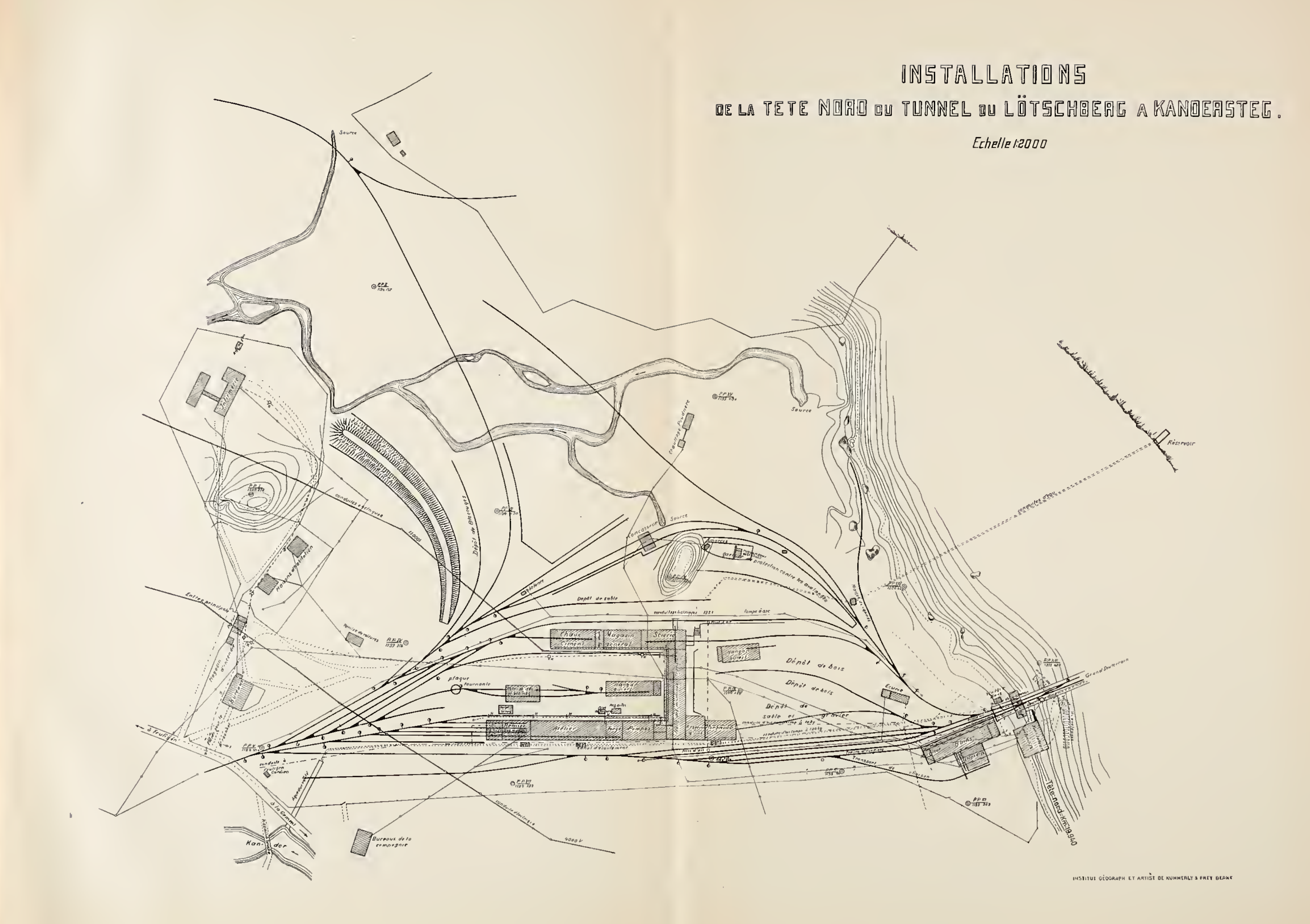
zusammengestellt von

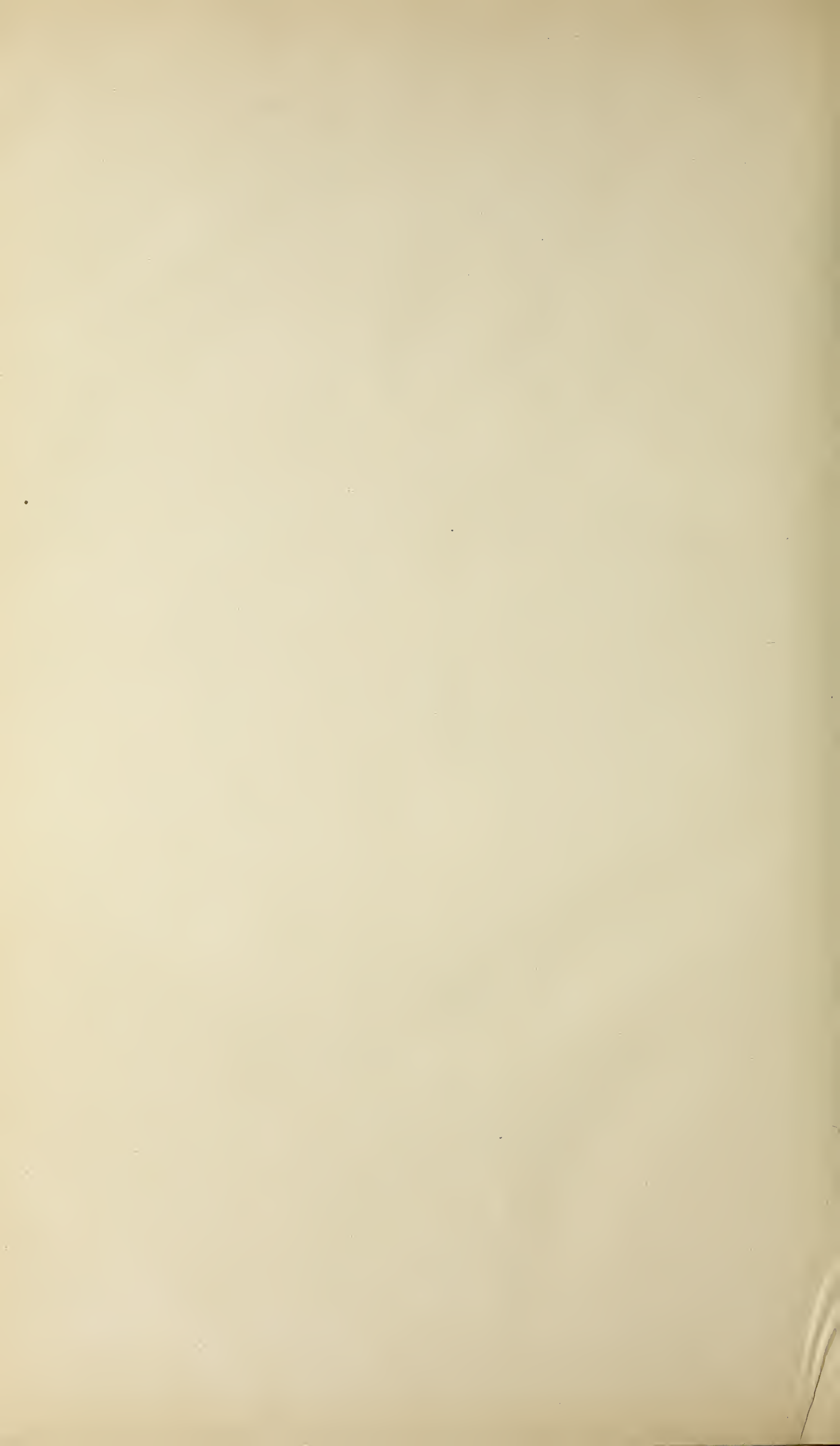
E. Hugi und E. Truninger

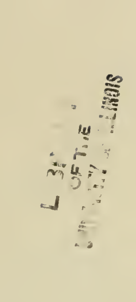







INSTALLATIONS
DE LA TETE NORD DU TUNNEL DU LÖTSCHBERG A KANDERSTEG.
Echelle 1:2000
Source
Réservoir
Dépôt de sable
Magasin général
Dépôt de bois
Dépôt de bois
plaque tournante
Bureaux de la compagnie
Kander
à Frutigen
Grand Souterrain

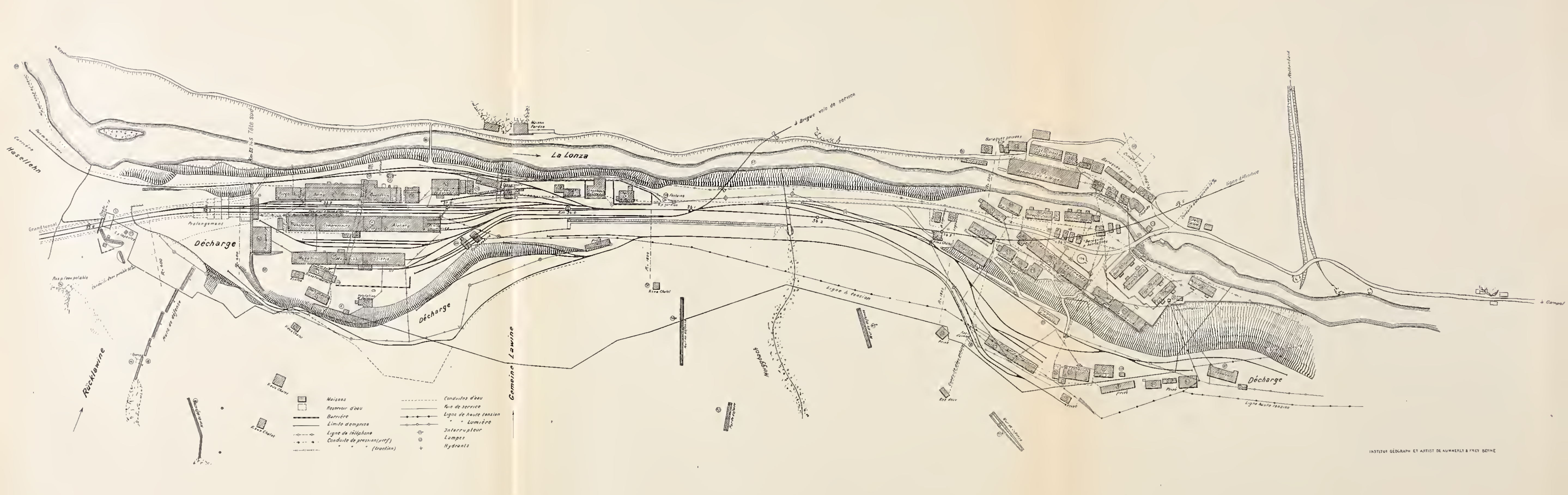






# INSTALLATIONS
## DE LA TETE SUD DU TUNNEL DU LÖTSCHBERG A GOPPENSTEIN.

*Echelle 1:2000*

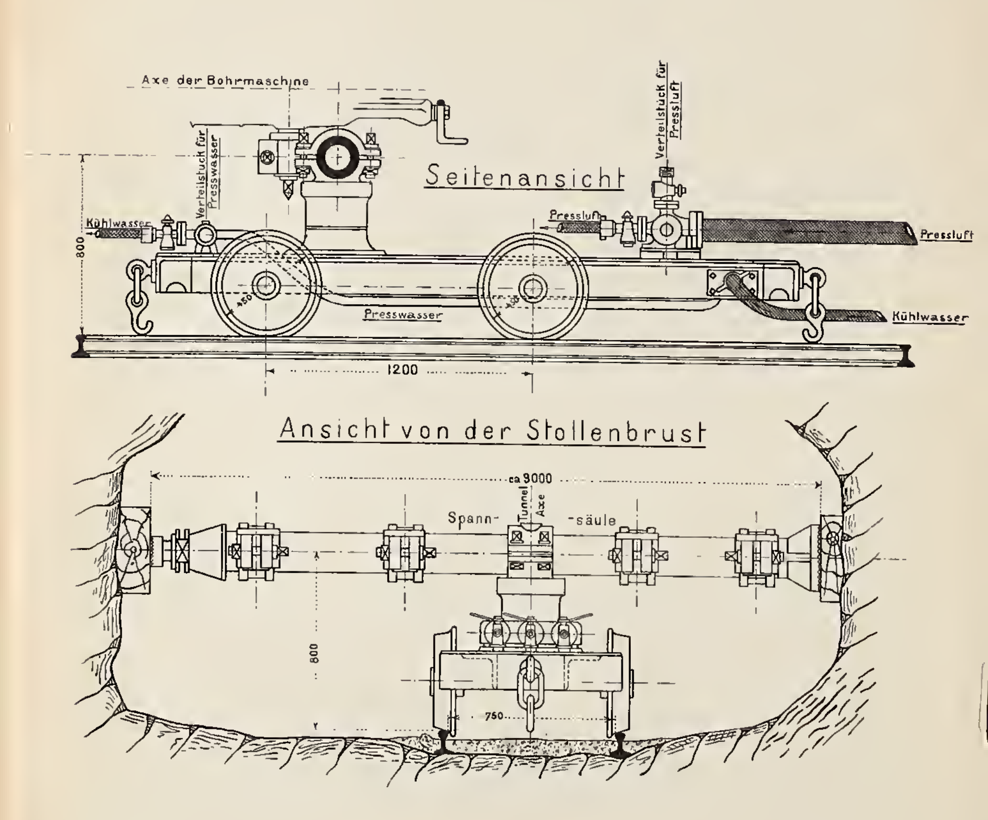



INSTITUT GÉOGRAPH ET ARTIST DE KUMMERLY & FREY BERNE



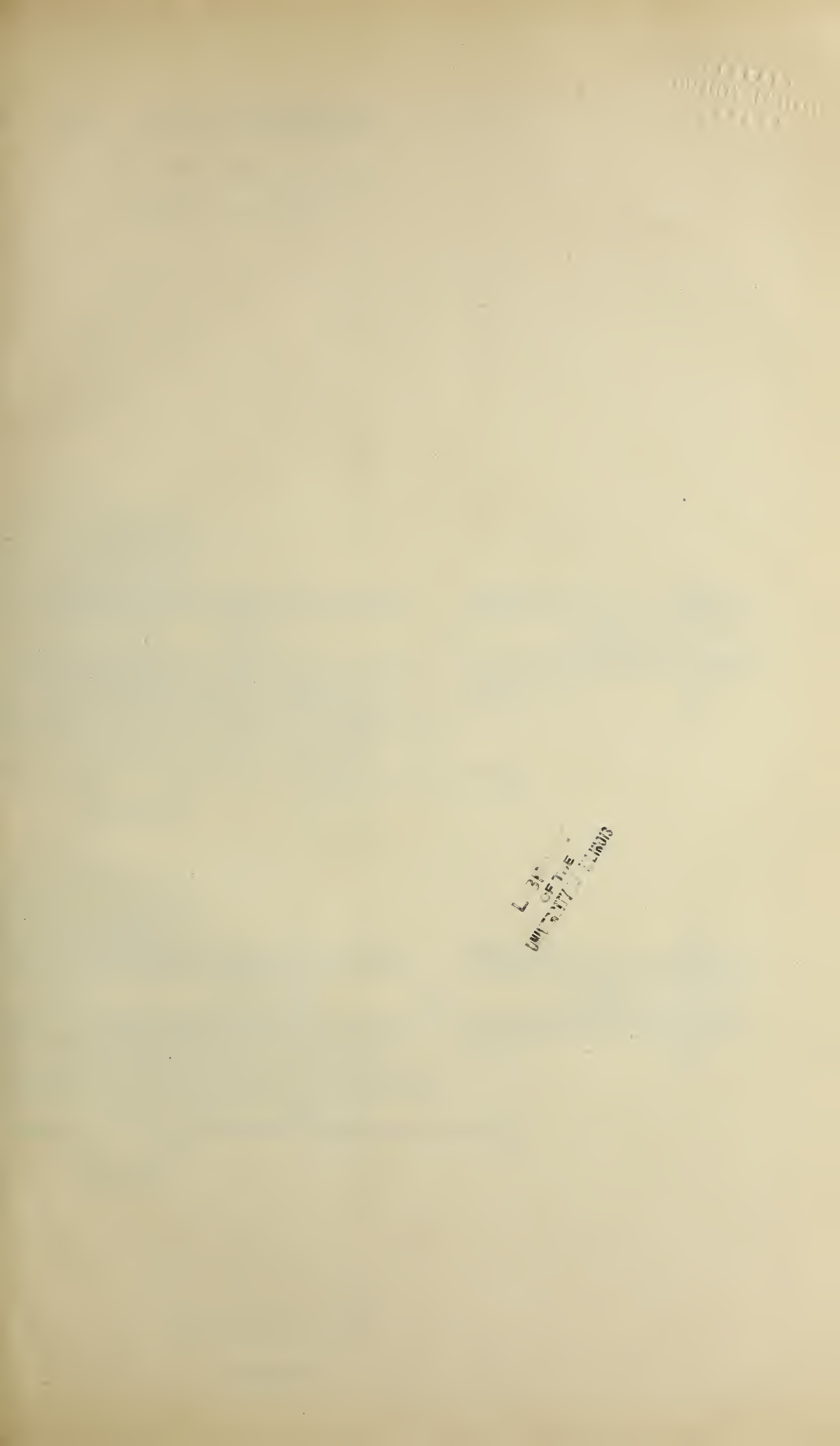


# BOHRWAGEN




ARTIST. ANST. KÜMMERLY & FREY BERN



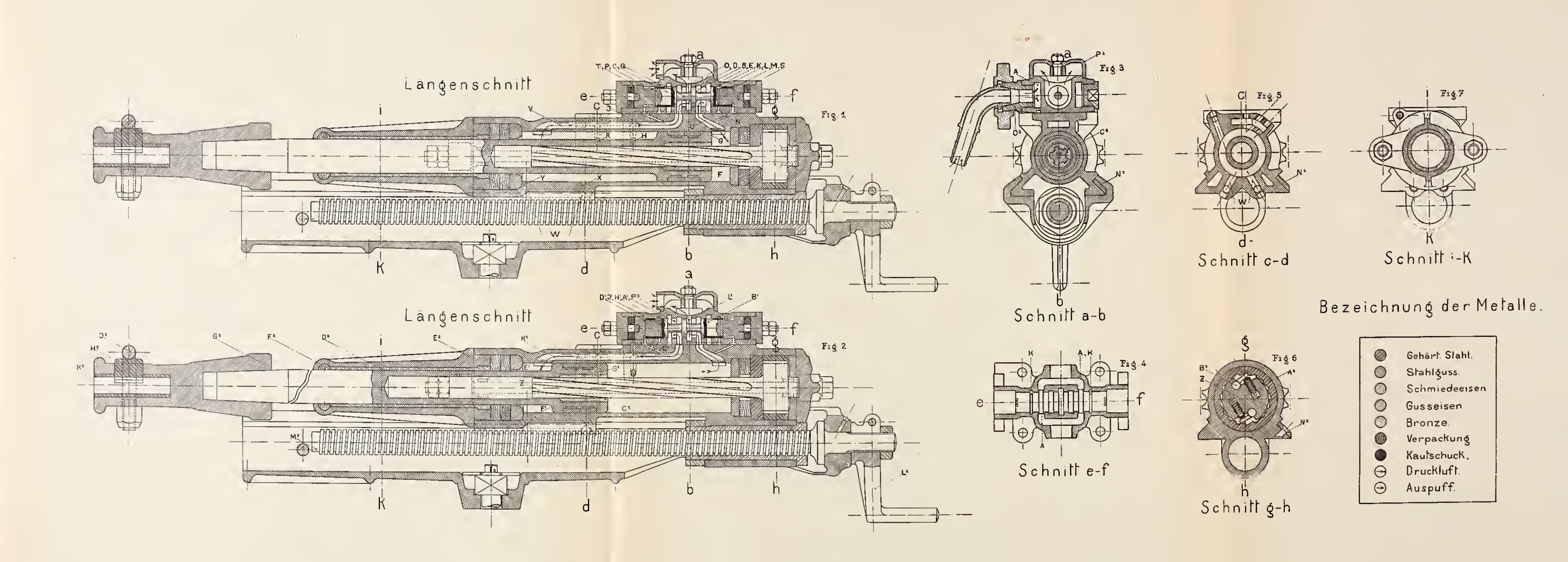




# MEYER'SCHE GESTEINSBOHRMASCHINE

## MODELL H1. CYL. 90 m/m DM.

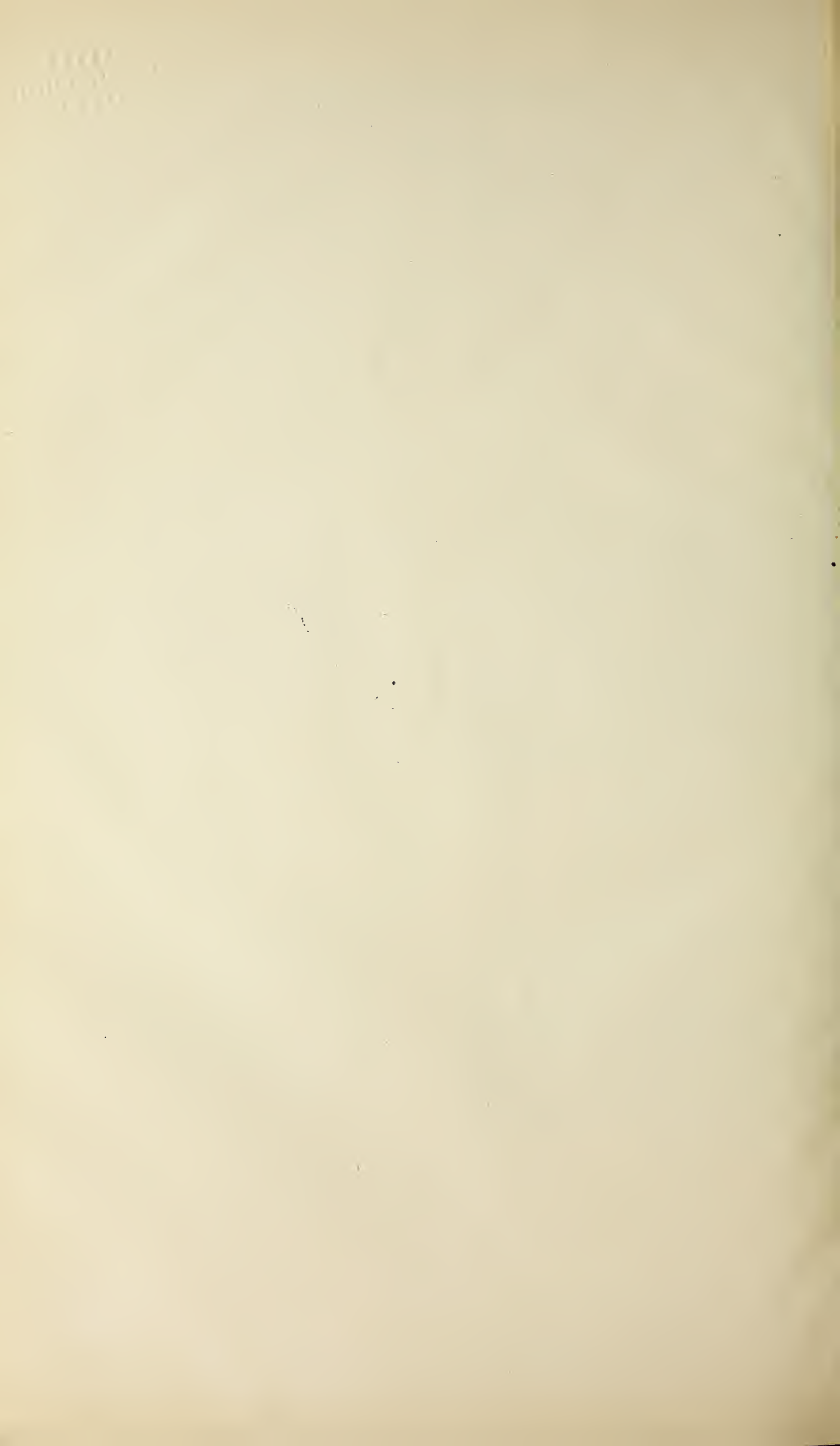
Ausführung 1906.

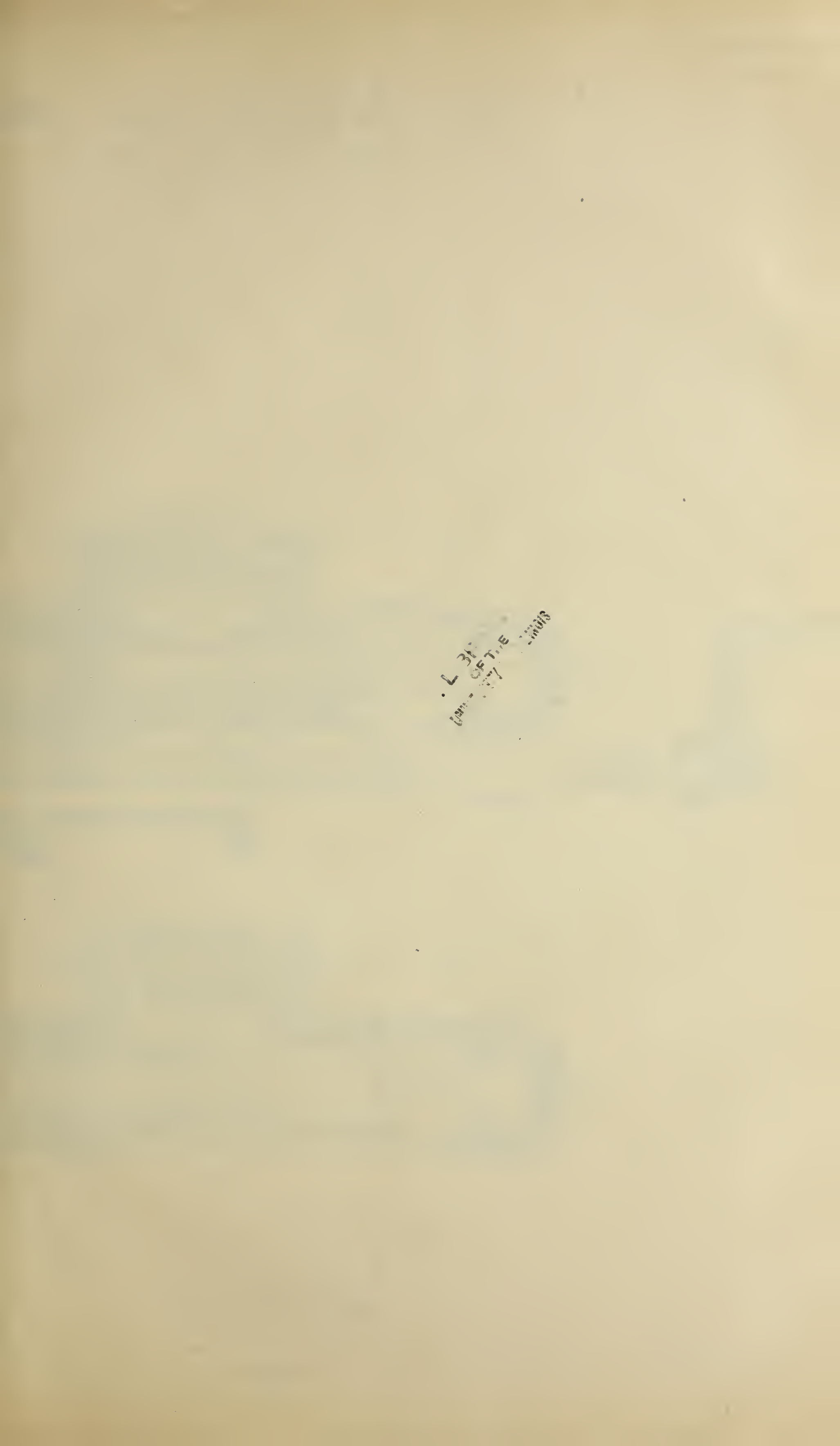


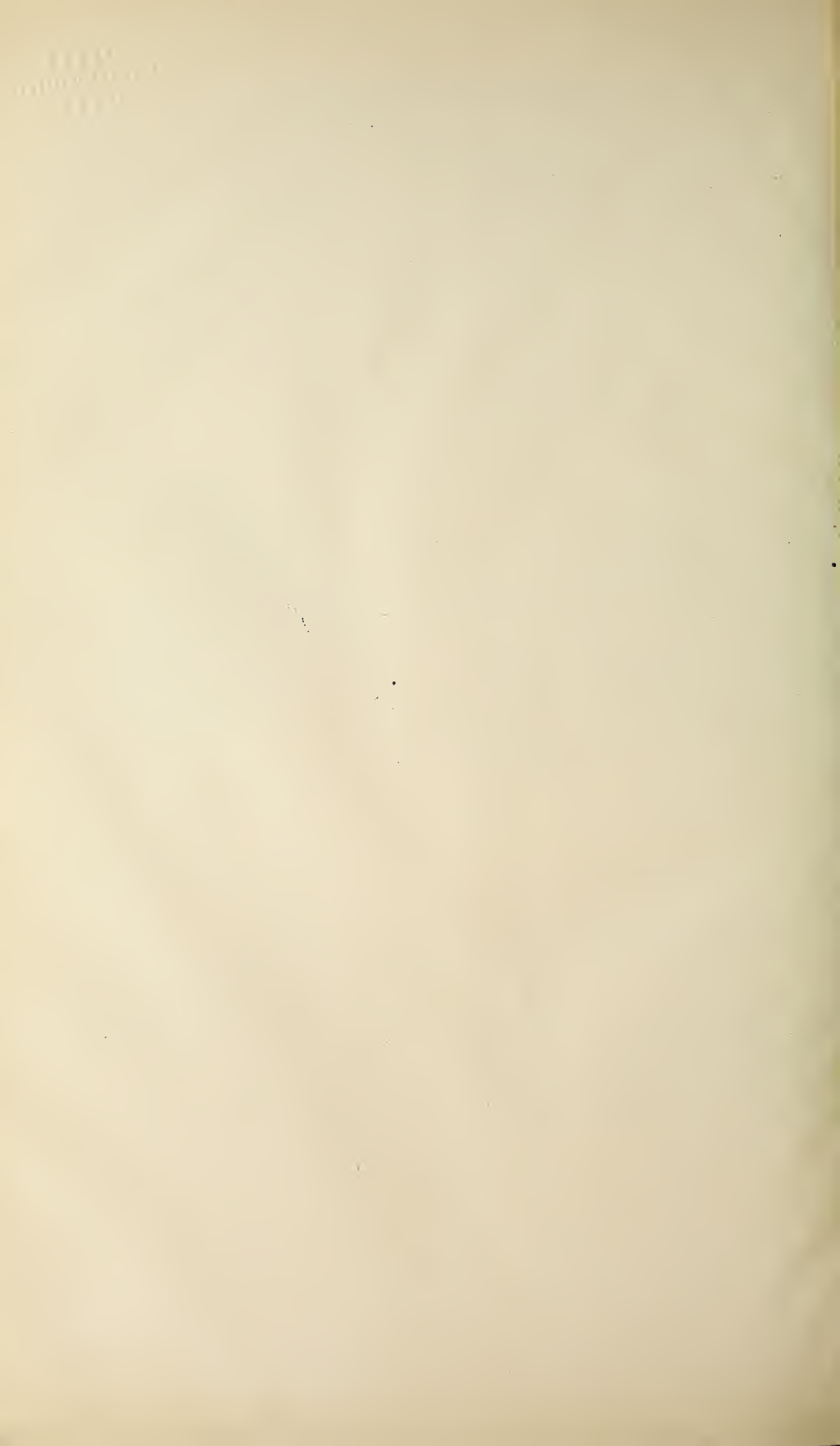

Masstab 1:5

Nº 145

GEOGRAPH. ARTIST. ANST. KUMMERLY & FREY, BERN







# JNGERSOLL'SCHE GESTEINSBOHRMASCHINE

## MODELL F 94. CYL. 92 m/m DM.

Fig. 1.

Längenschnitt.

Fig. 2.

Längenschnitt.

Q N M H C a B J E Q

Fig. 3

Druckluft

Auspuff

Fig. 4

Druckluft

Auspuff

Fig. 5

Ansicht e-f.
halbe Grösse

Bezeichnung der Metalle

- Stahl
- Gusseisen
- Bronze
- Leder
- Kautschuck
- Druckluft
- Auspuff

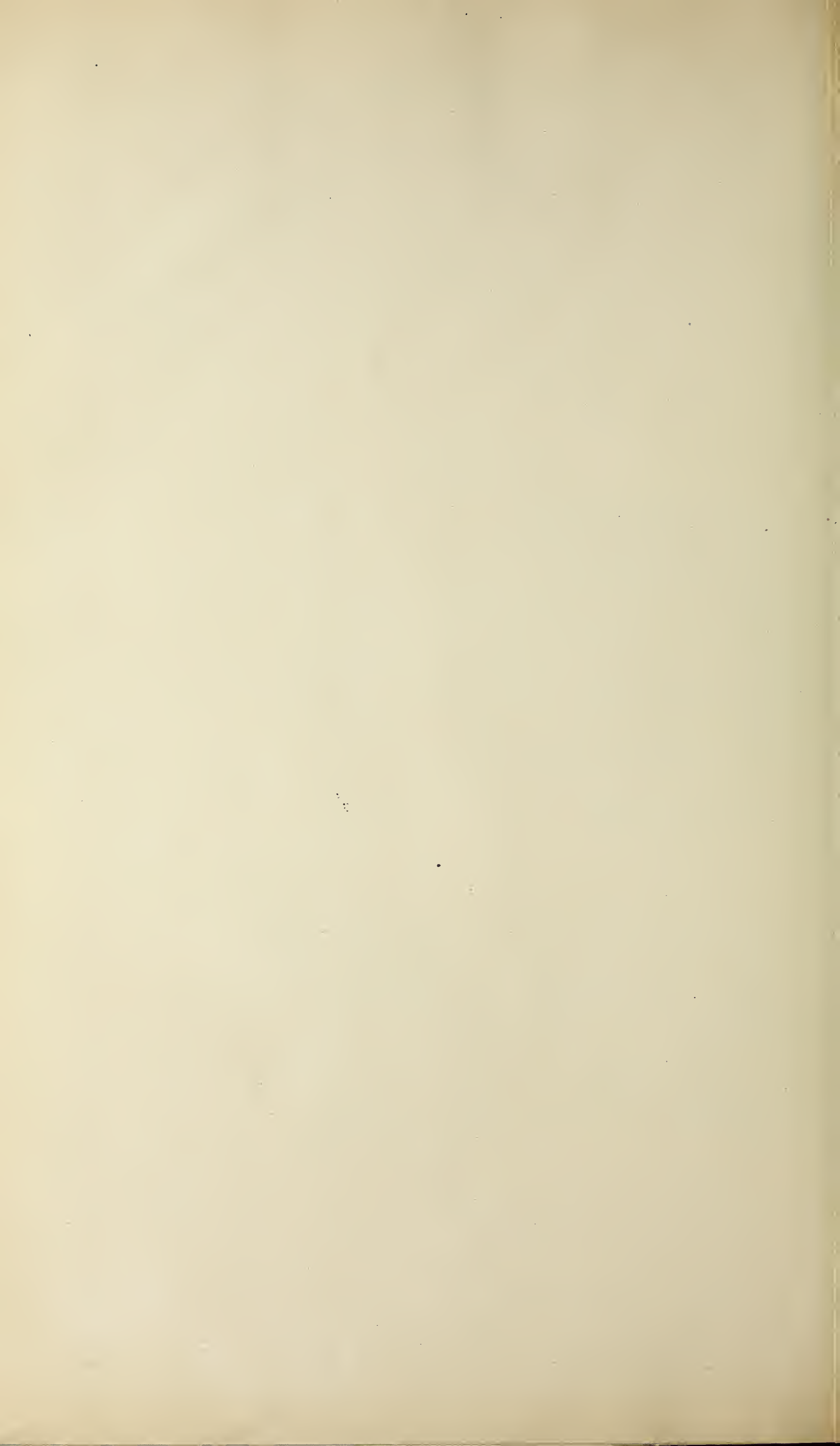
Masstab 1 : 4,5

Bern im Dezember 1910 (8)

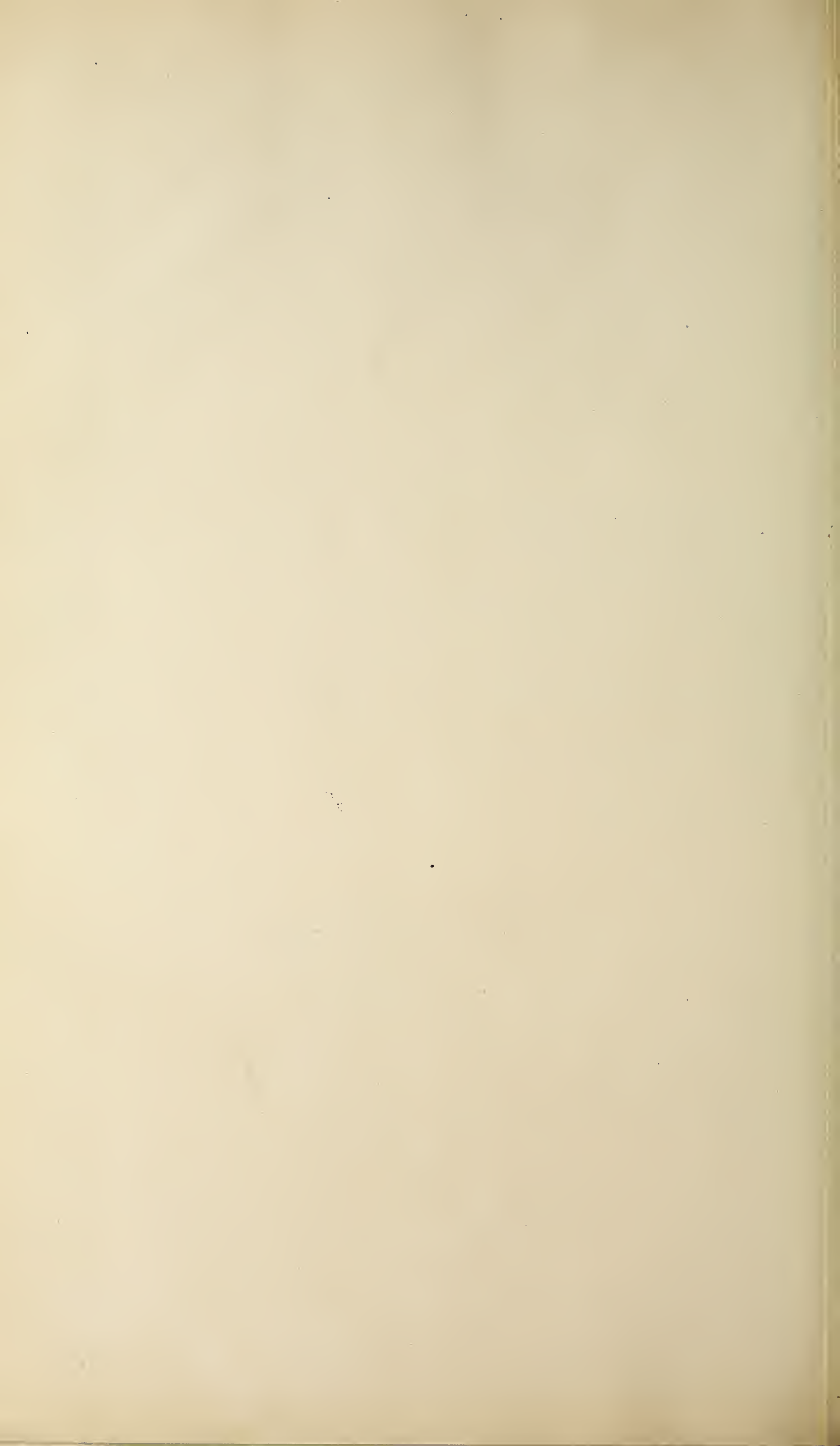




OGRAPH ARTIST ANST KUMMERLY & FREY BERN

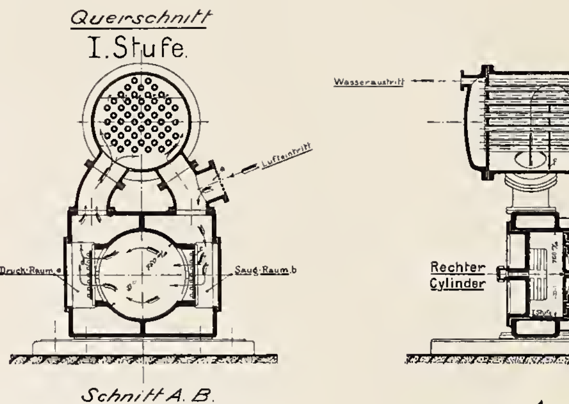


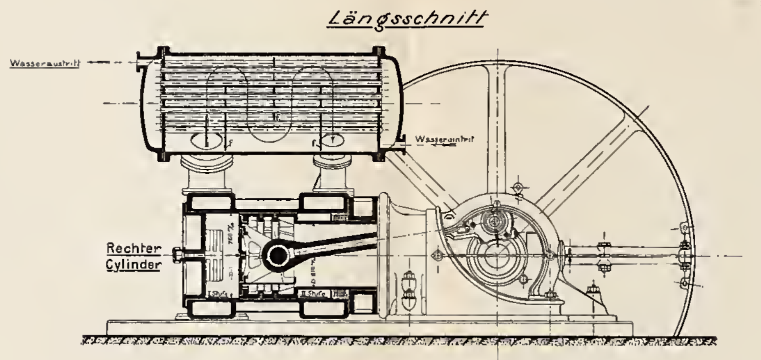


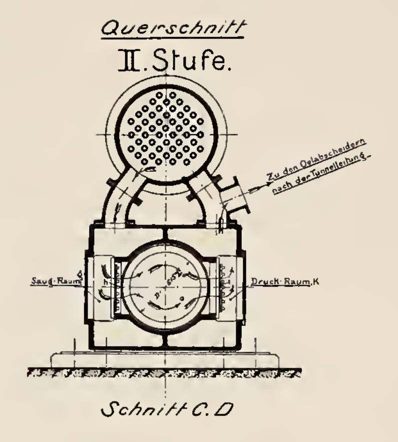


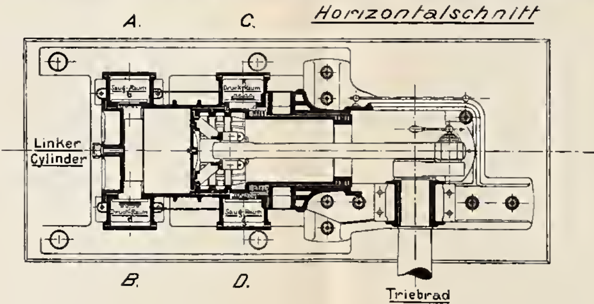
# ZWEISTUFIGER ZWILLINGSCOMPRESSOR

Meyer



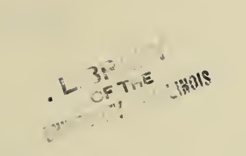

**Constructionsdaten des Kompressors.**

Touren pro Minute = 110 350 HP
Compression = 10 Kg. $cm^2$
Hub. beider Stufen = 600 m/m
Zylinderdurchm. I Stufe = 760 m/m.
" " II " = 615 m/m.
Ansaug atmosf. Luft 56 $m^3$ pro Minute.

M = 1:40

ARTIST. ANST. KÜMMERLY & FREY BERN

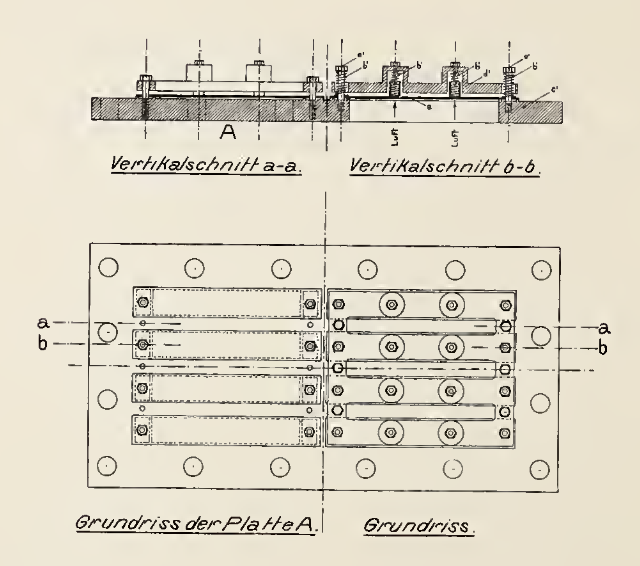






# VENTIL
des
Niederdruckkompressors

M=1:6




ARTIST ANST KÜMMERLY & FREY BERN





# ZWEISTUFIGER ZWILLINGSCOMPRESSOR

Modell „D"

M = 1:40.

Ingersoll – Rand.

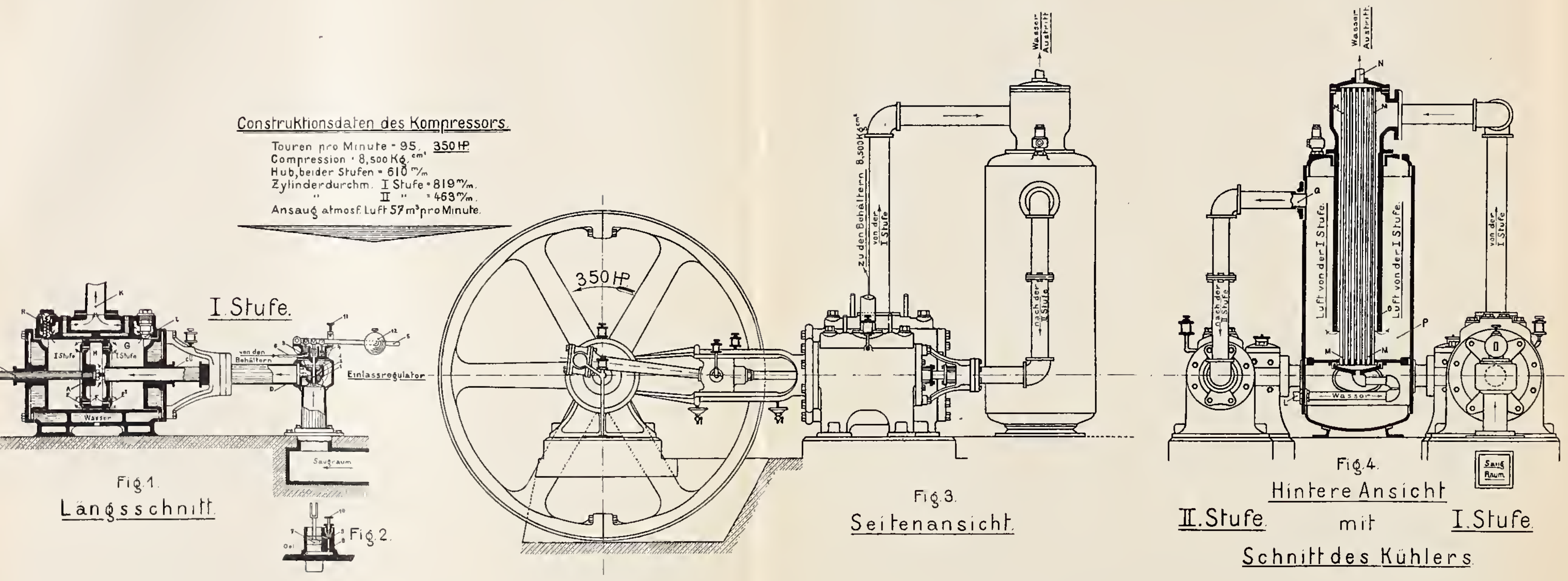



Fig. 1. Längsschnitt.

Fig. 2.

Fig. 3. Seitenansicht.

Fig. 4. Hintere Ansicht mit Schnitt des Kühlers. II. Stufe. I. Stufe.

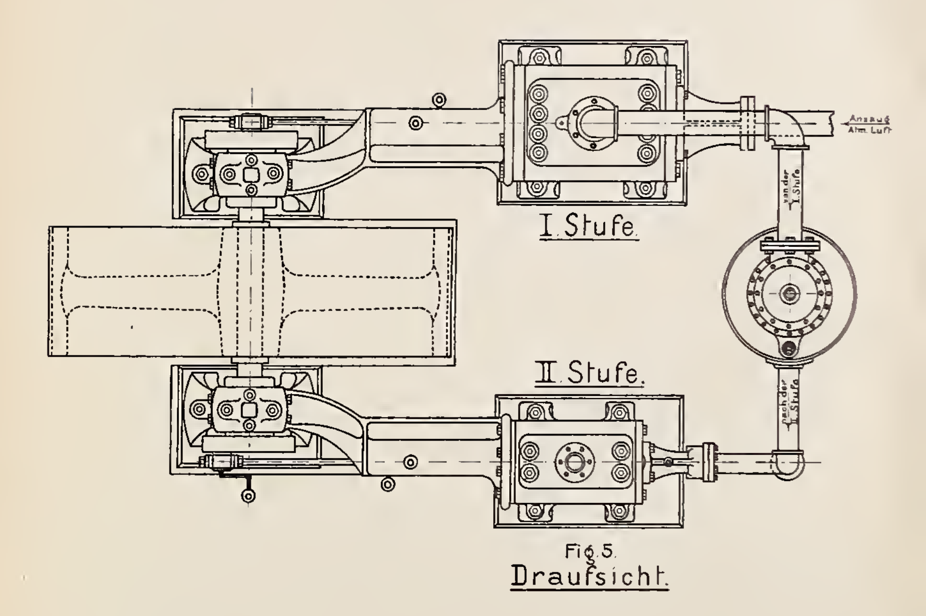
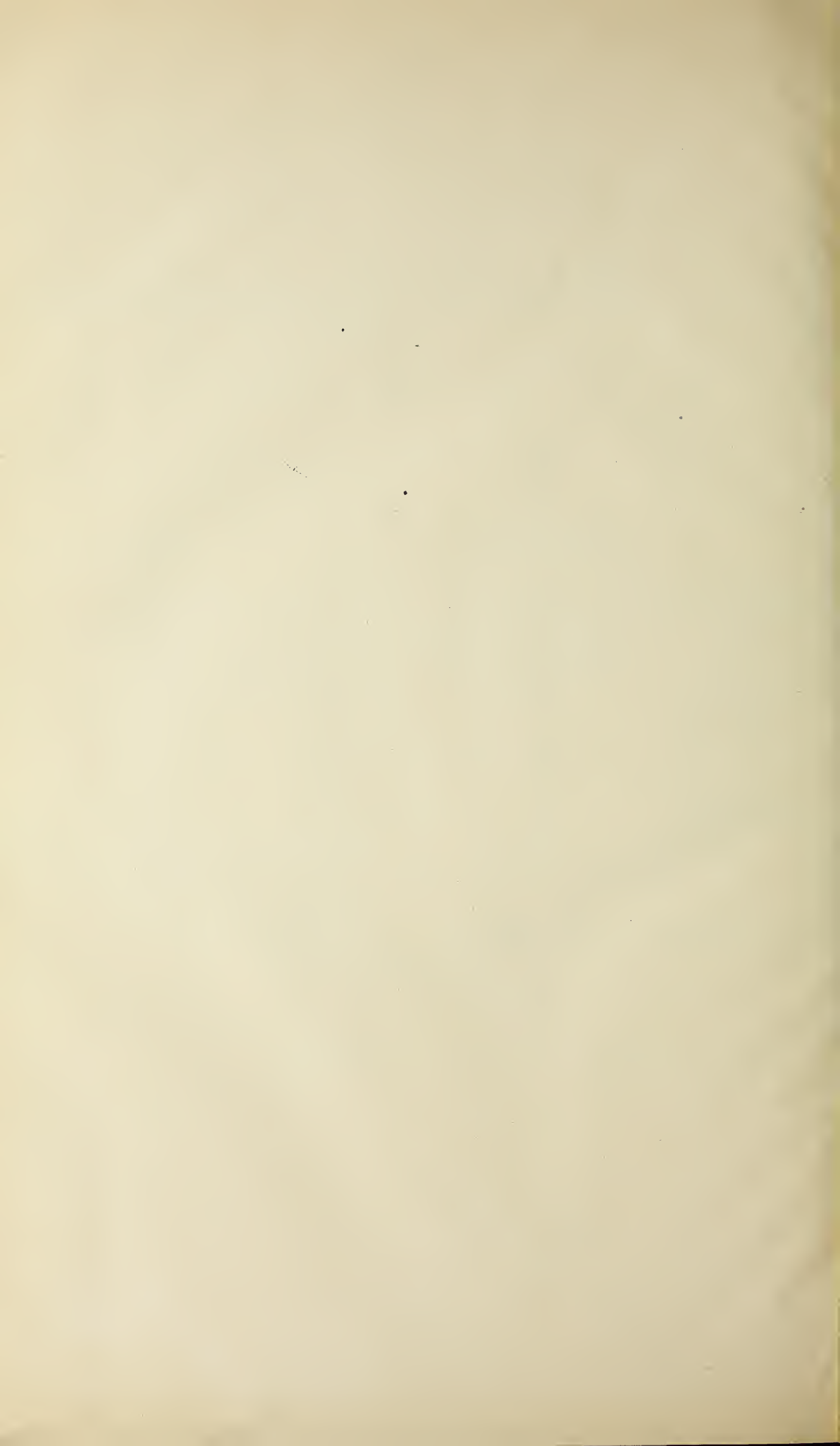
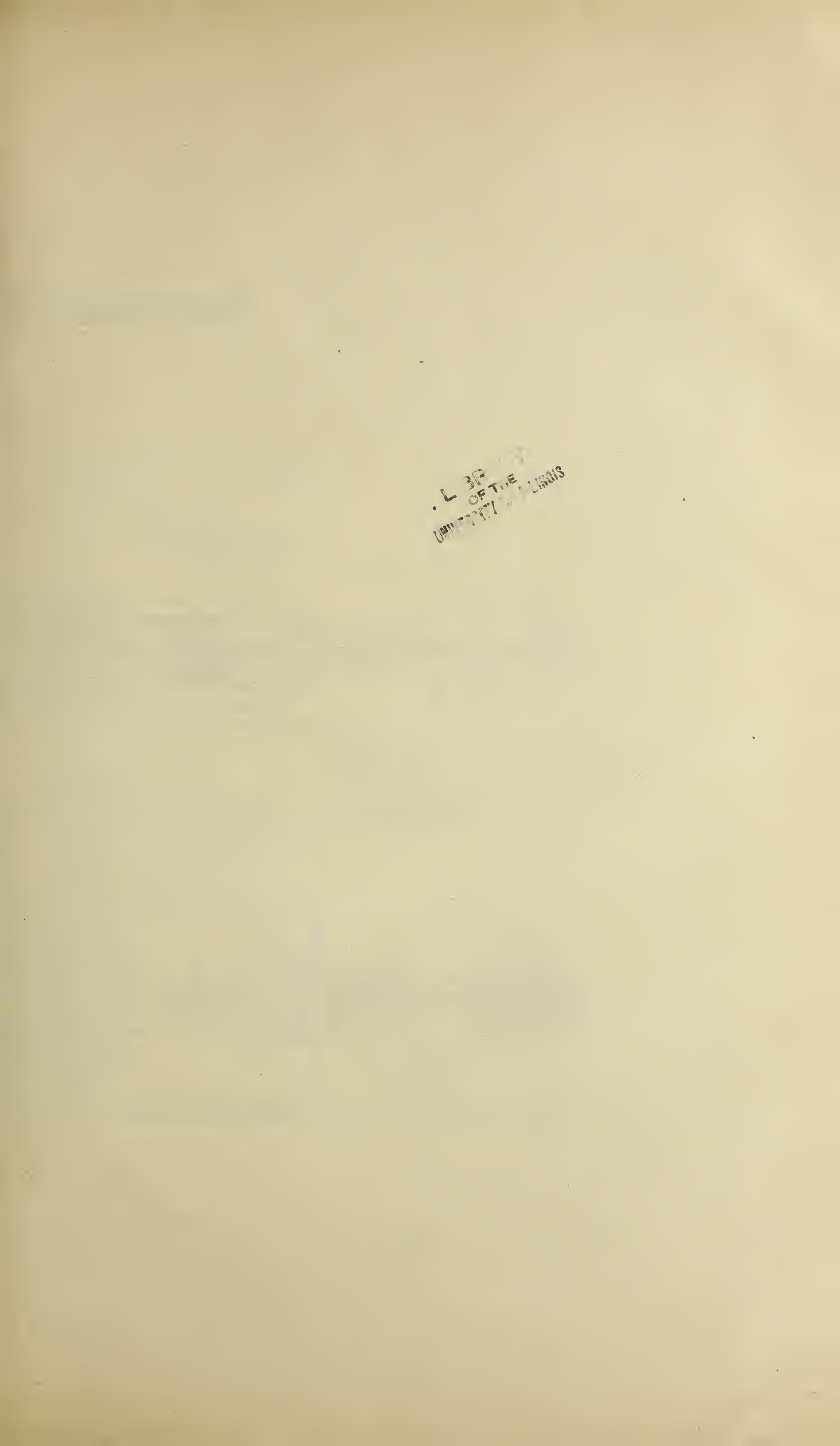


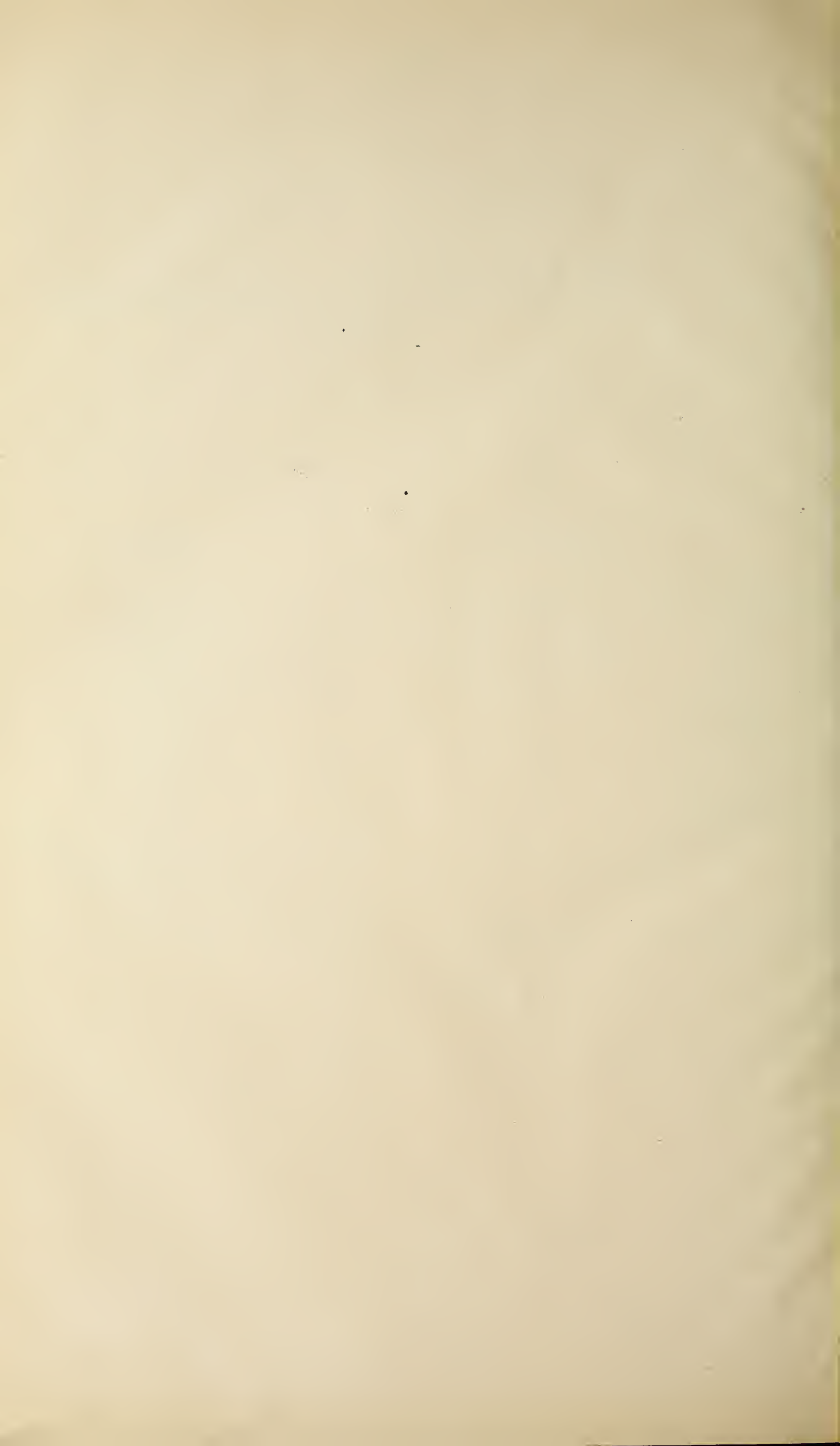

Fig. 5. Draufsicht.



ARTIST. ANST. KÜMMERLY & FREY, BERN.



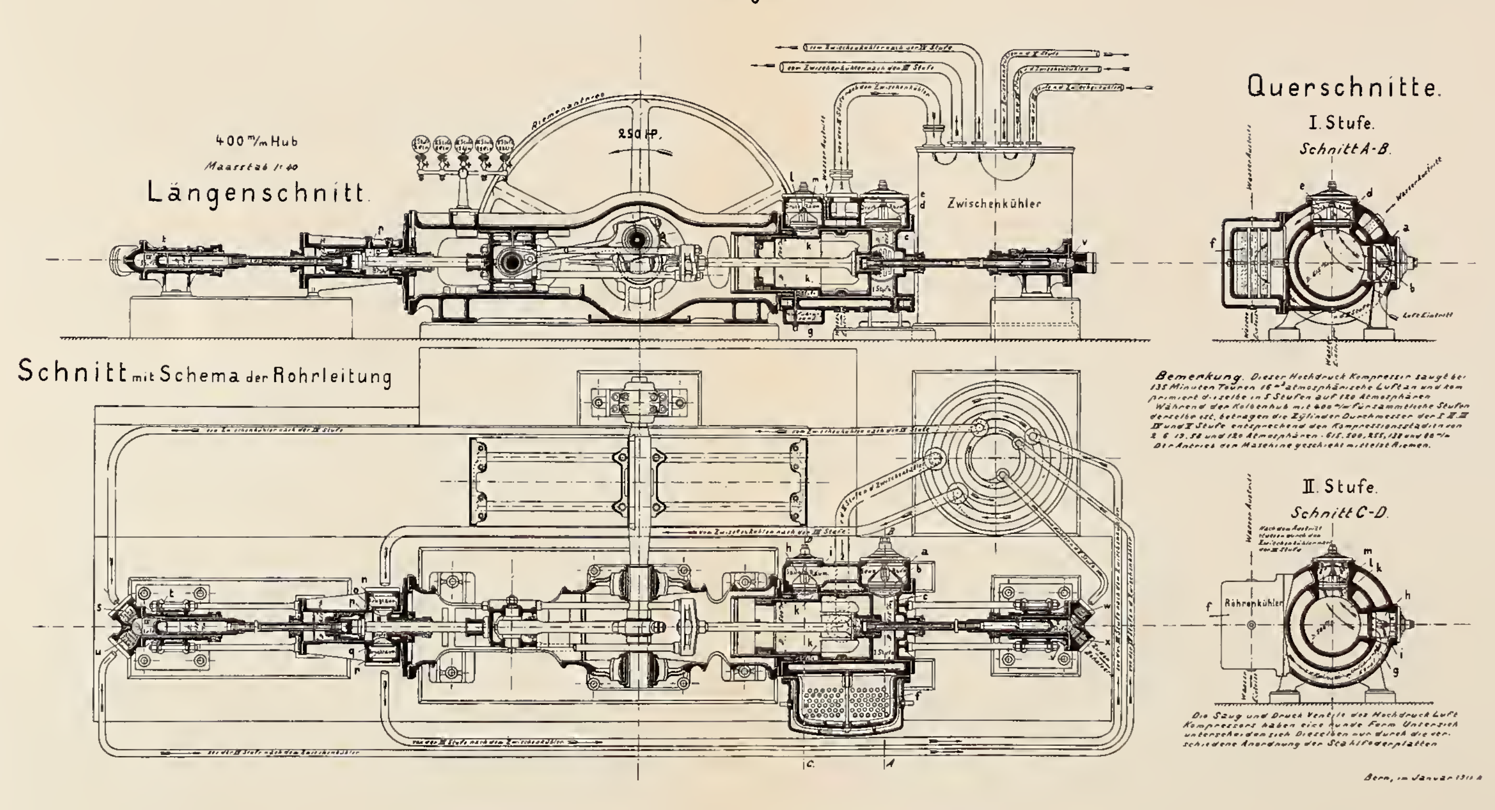




# Fünfstufiger Hochdruck Kompressor.

von 120 Atmosphären.

Meyer




ARTIST. ANST. KÜMMERLY & FREY BERN

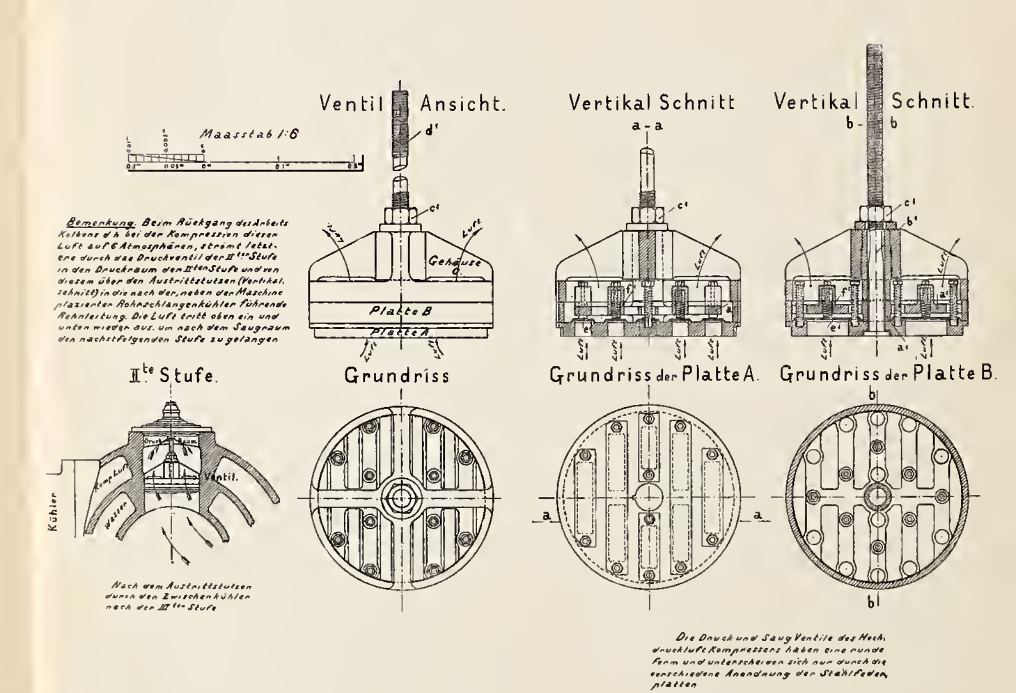




# VENTIL

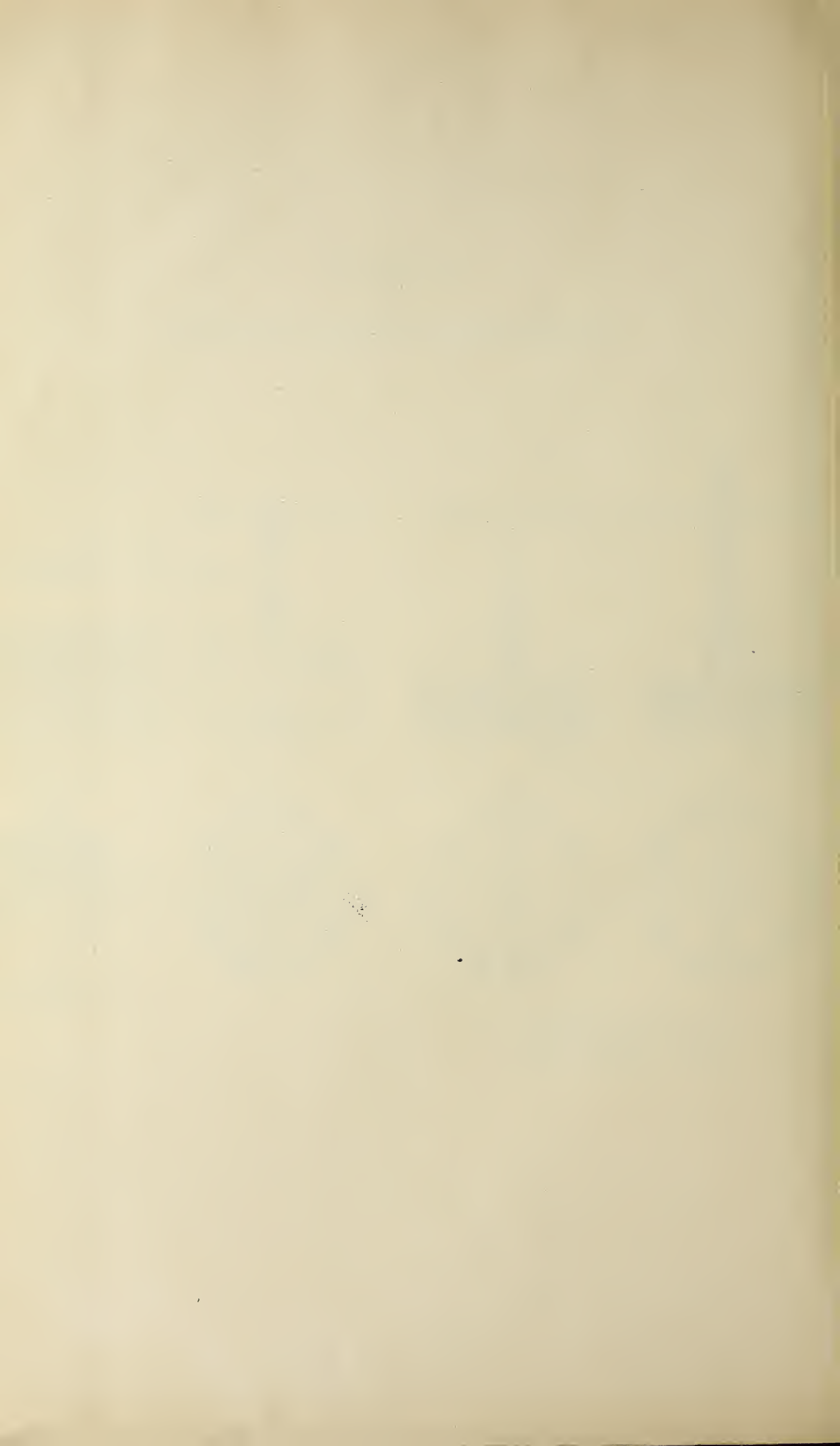
der

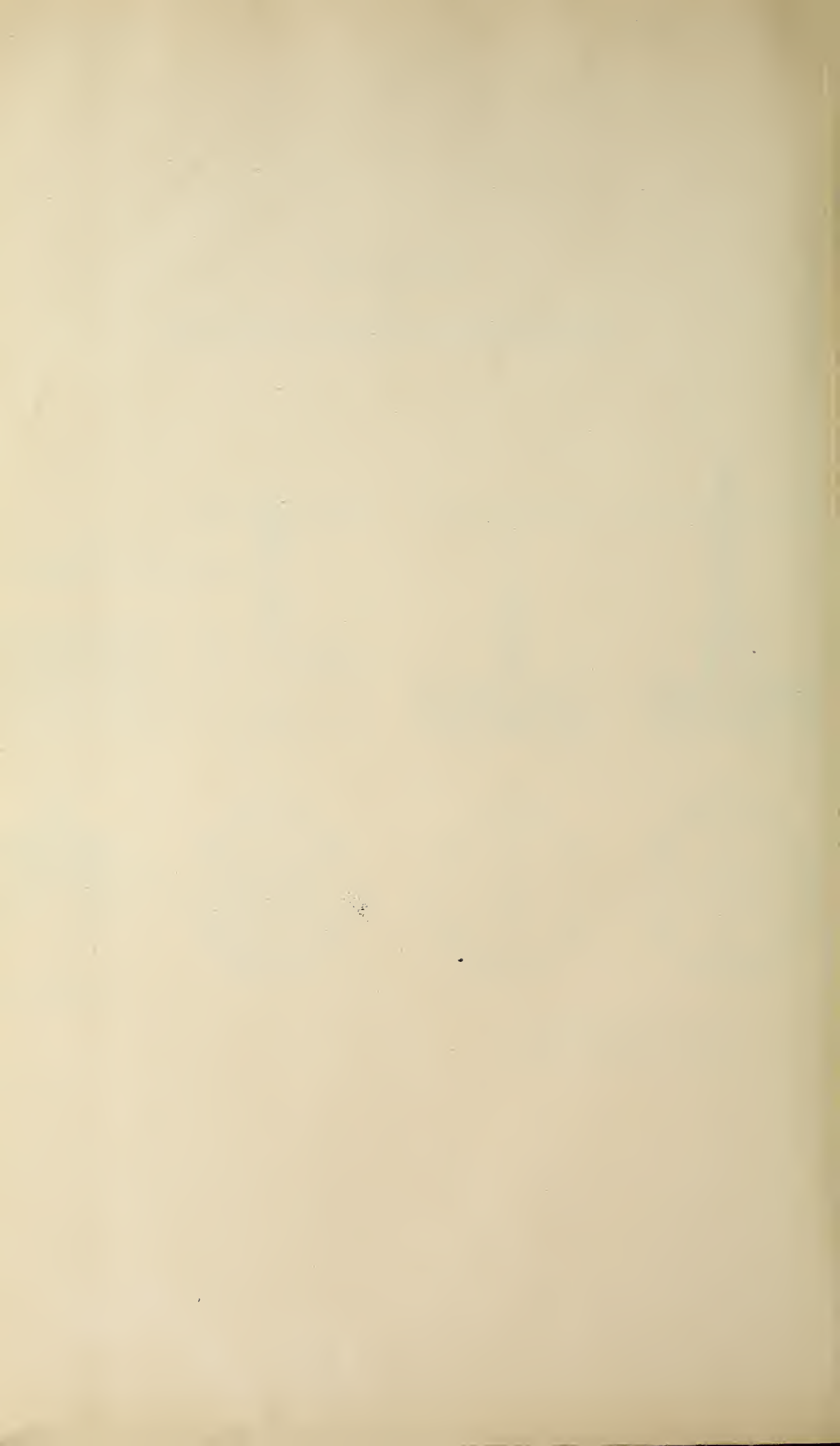
## II.ten Stufe des Hochdruckkompressors

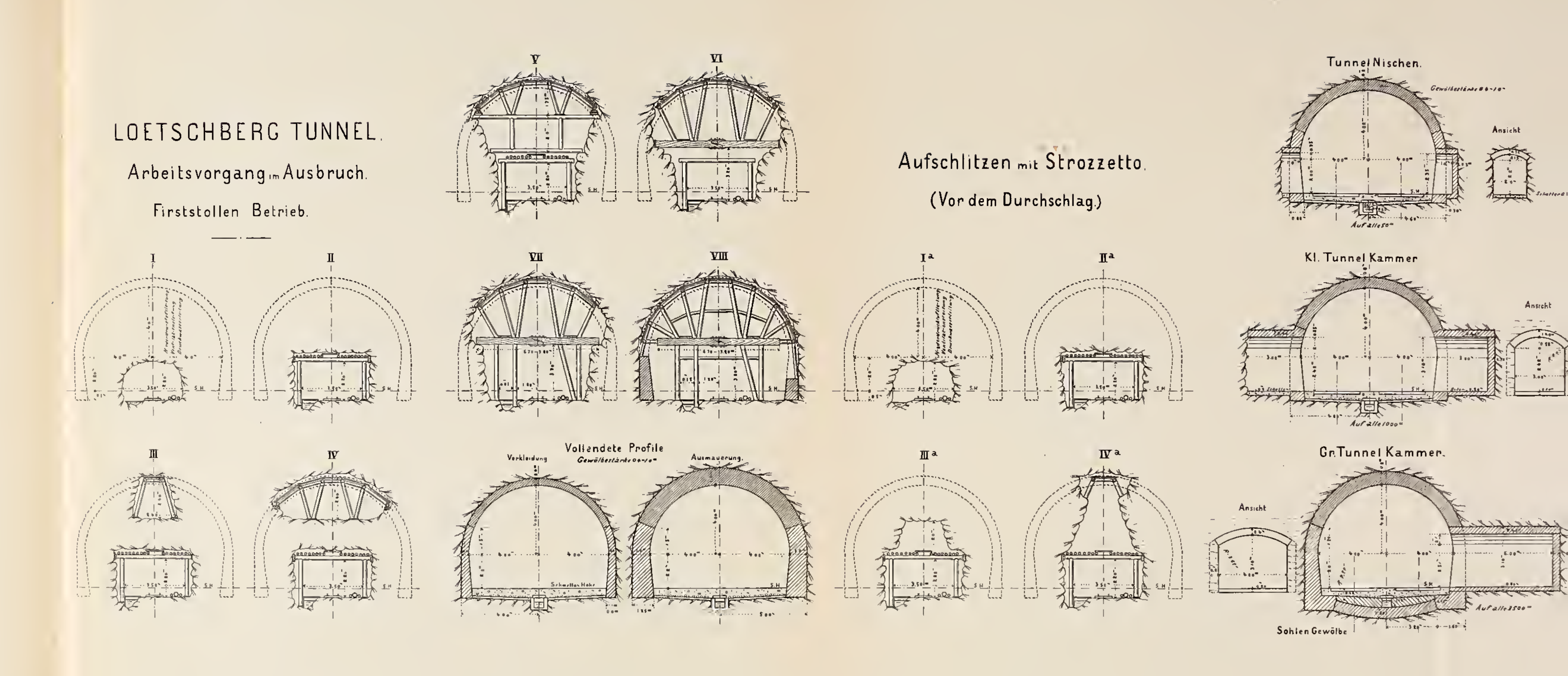



Bern, im Februar 1911. R

ARTIST. ANST. KUMMERLY & FREY, BERN

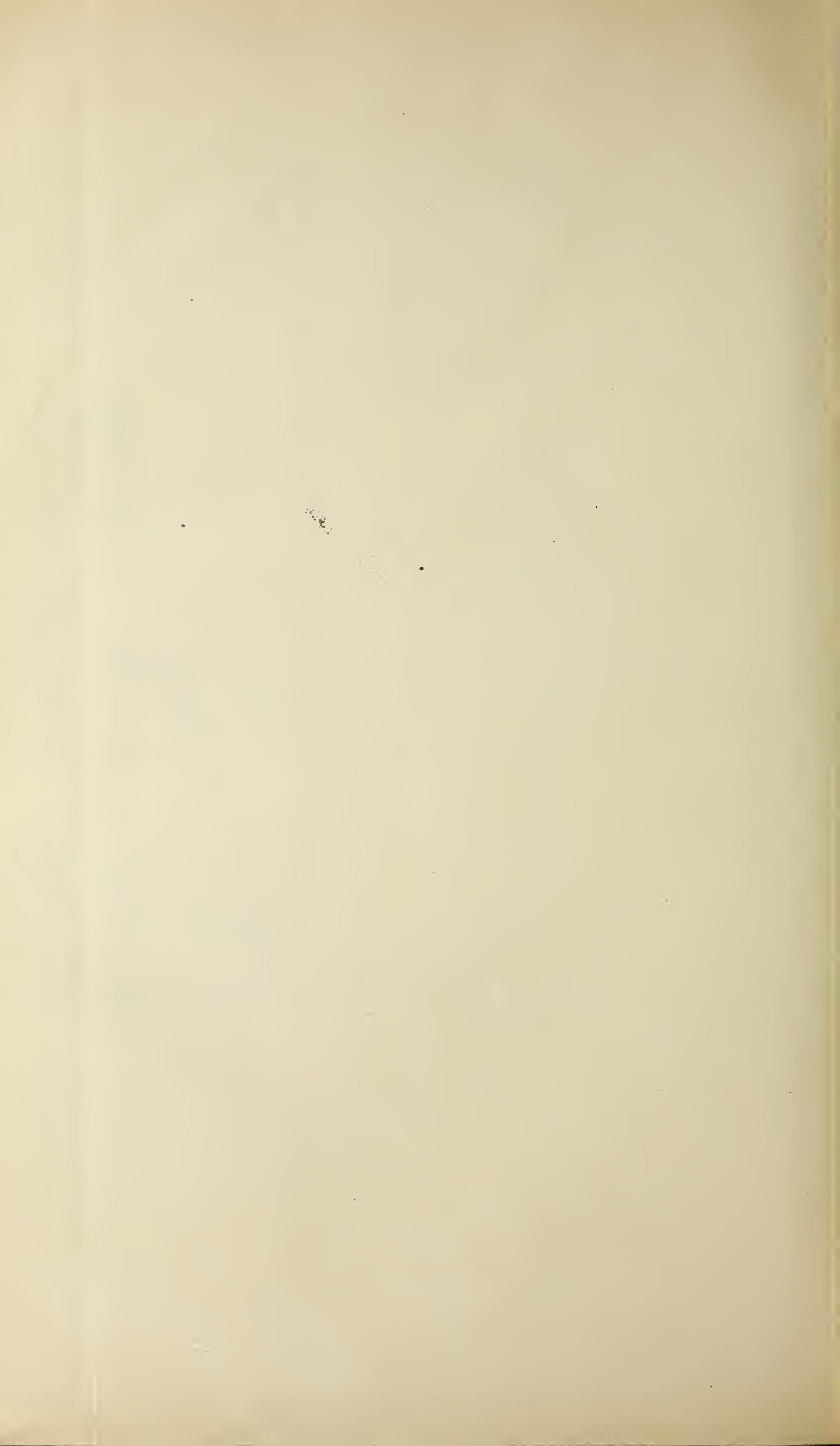


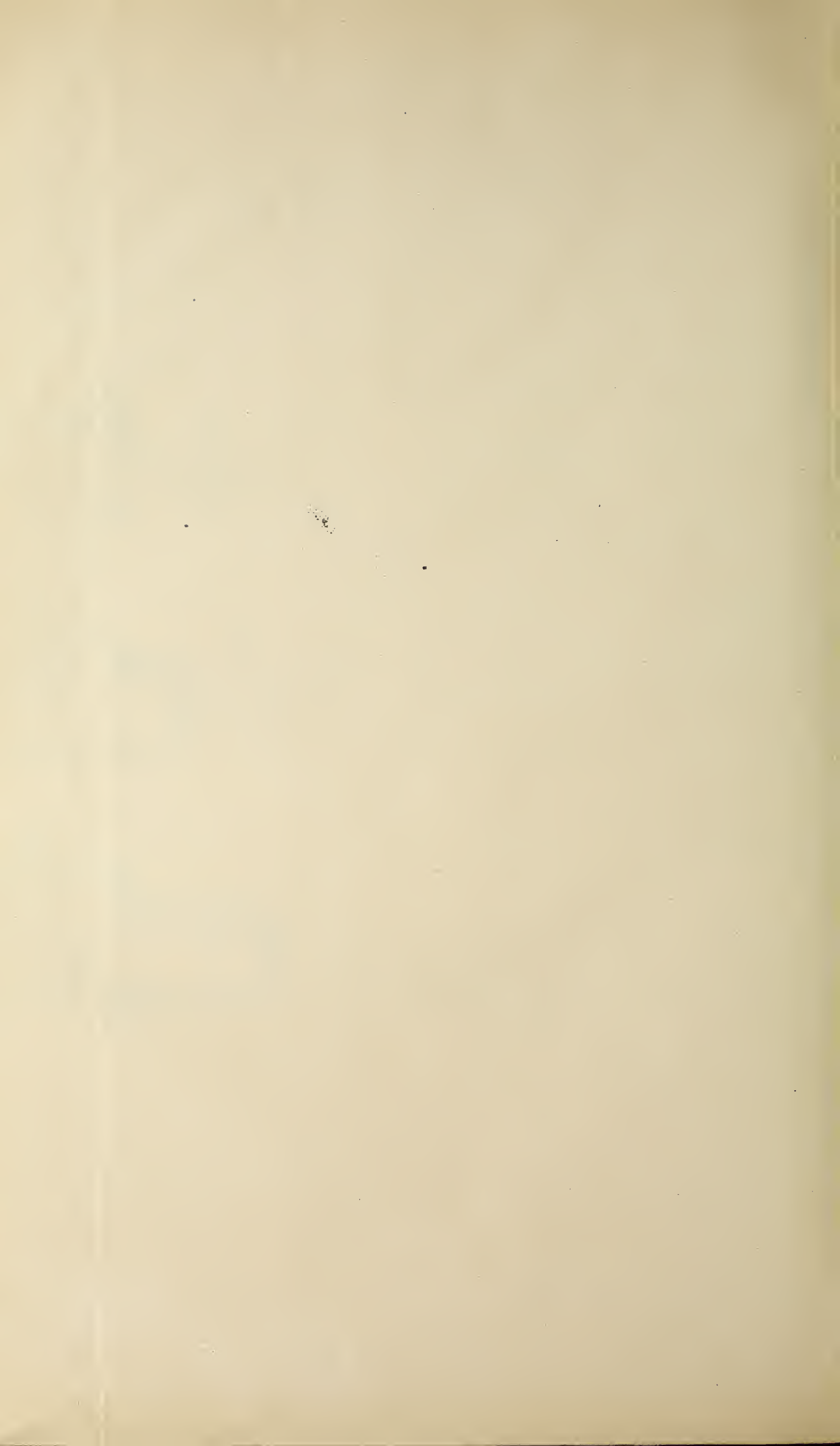


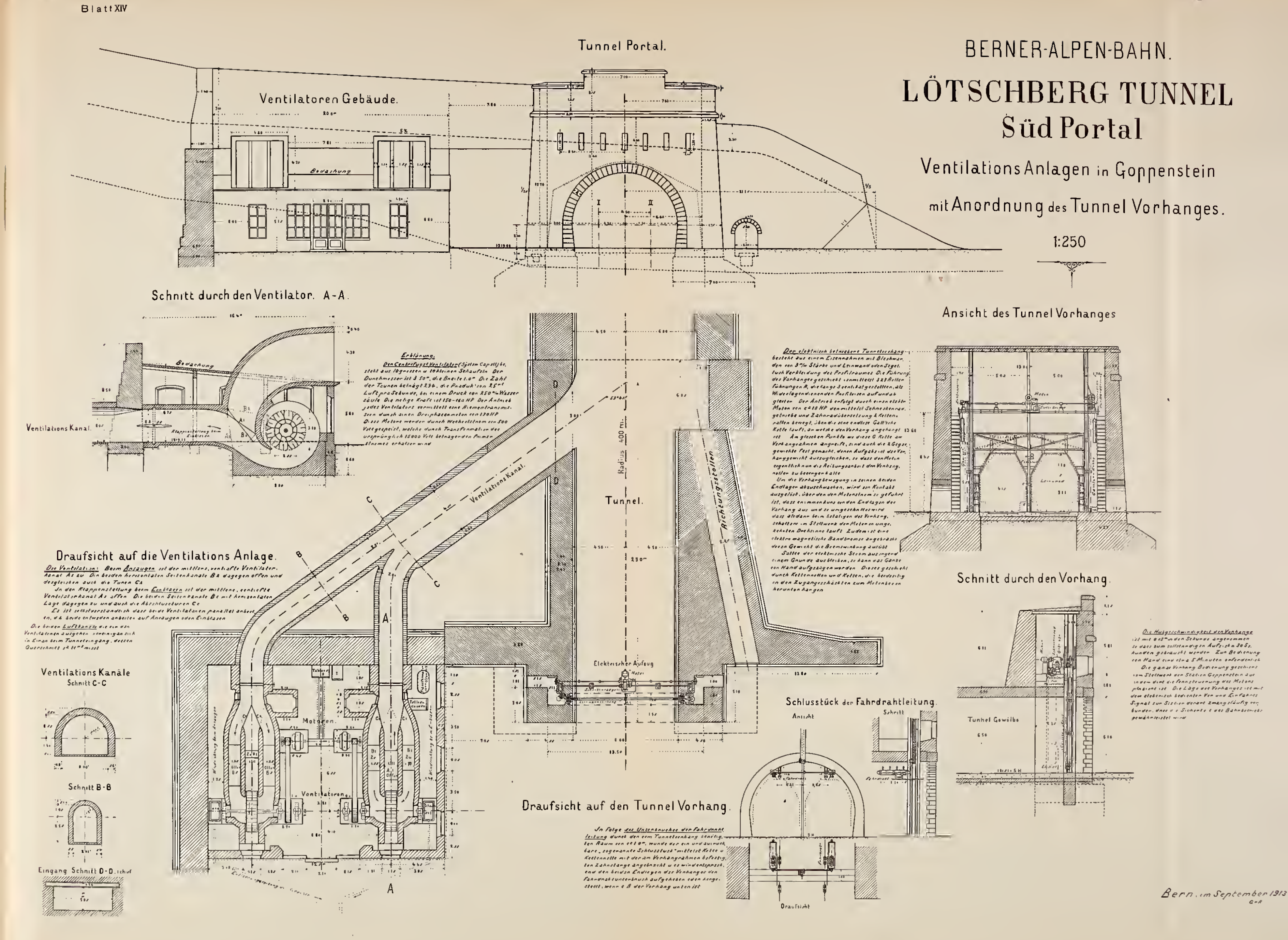


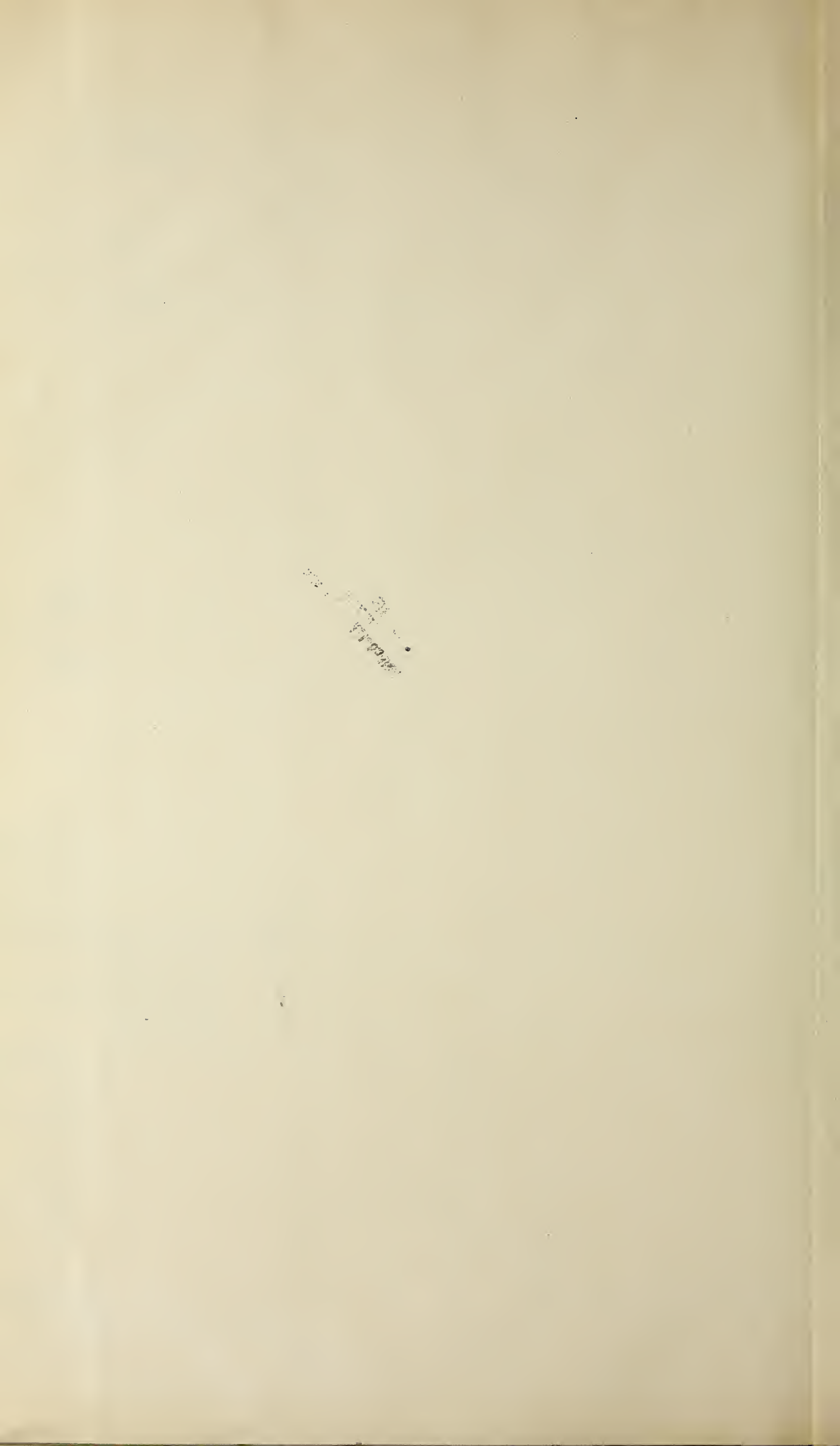

Masstab 1:200

GEOGRAPH. ARTIST. ANST. KÜMMERLY & FREY, BERN






BERNER-ALPEN-BAHN.
LÖTSCHBERG TUNNEL
Süd Portal
Ventilations Anlagen in Goppenstein
mit Anordnung des Tunnel Vorhanges.
1:250
Tunnel Portal.
Ventilatoren Gebäude.
Schnitt durch den Ventilator. A-A.
Ventilations Kanal.
Erklärung.
Ansicht des Tunnel Vorhanges
Ventilations Kanal.
Tunnel.
Richtungsstollen
Radius 400 m.
Draufsicht auf die Ventilations Anlage.
Ventilations Kanäle
Schnitt C-C
Schnitt B-B
Eingang Schnitt D-D
Motoren
Ventilatoren
Elektrischer Aufzug
Schnitt durch den Vorhang.
Tunnel Gewölbe
Schlusstück der Fahrdrahtleitung.
Ansicht
Schnitt
Draufsicht
Draufsicht auf den Tunnel Vorhang.
Bern, im September 1913
GEOGRAPH. ARTIST. ANST. KÜMMERLY & FREY BERN





## Installationen in Kandersteg

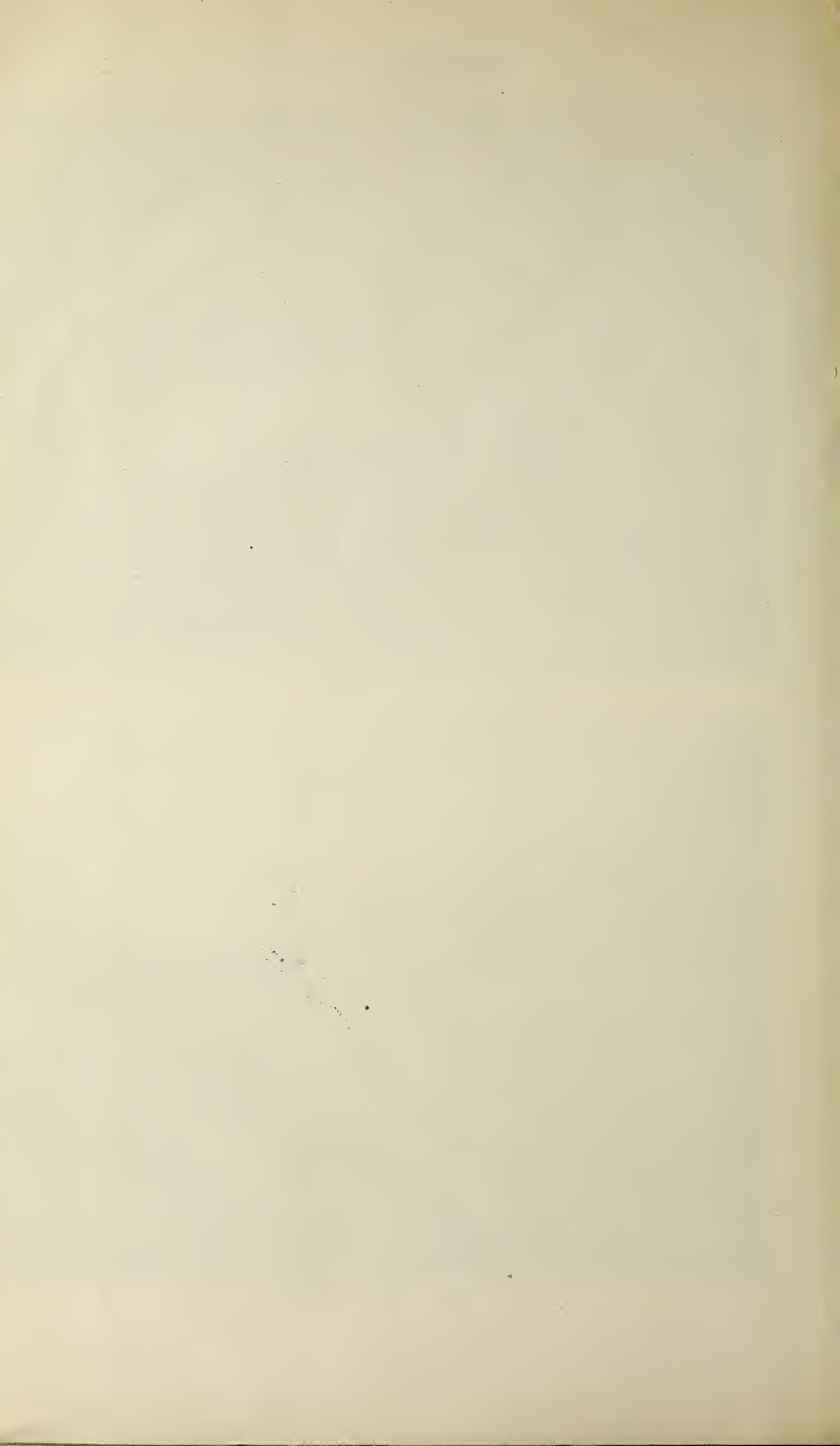
auf der Nordseite

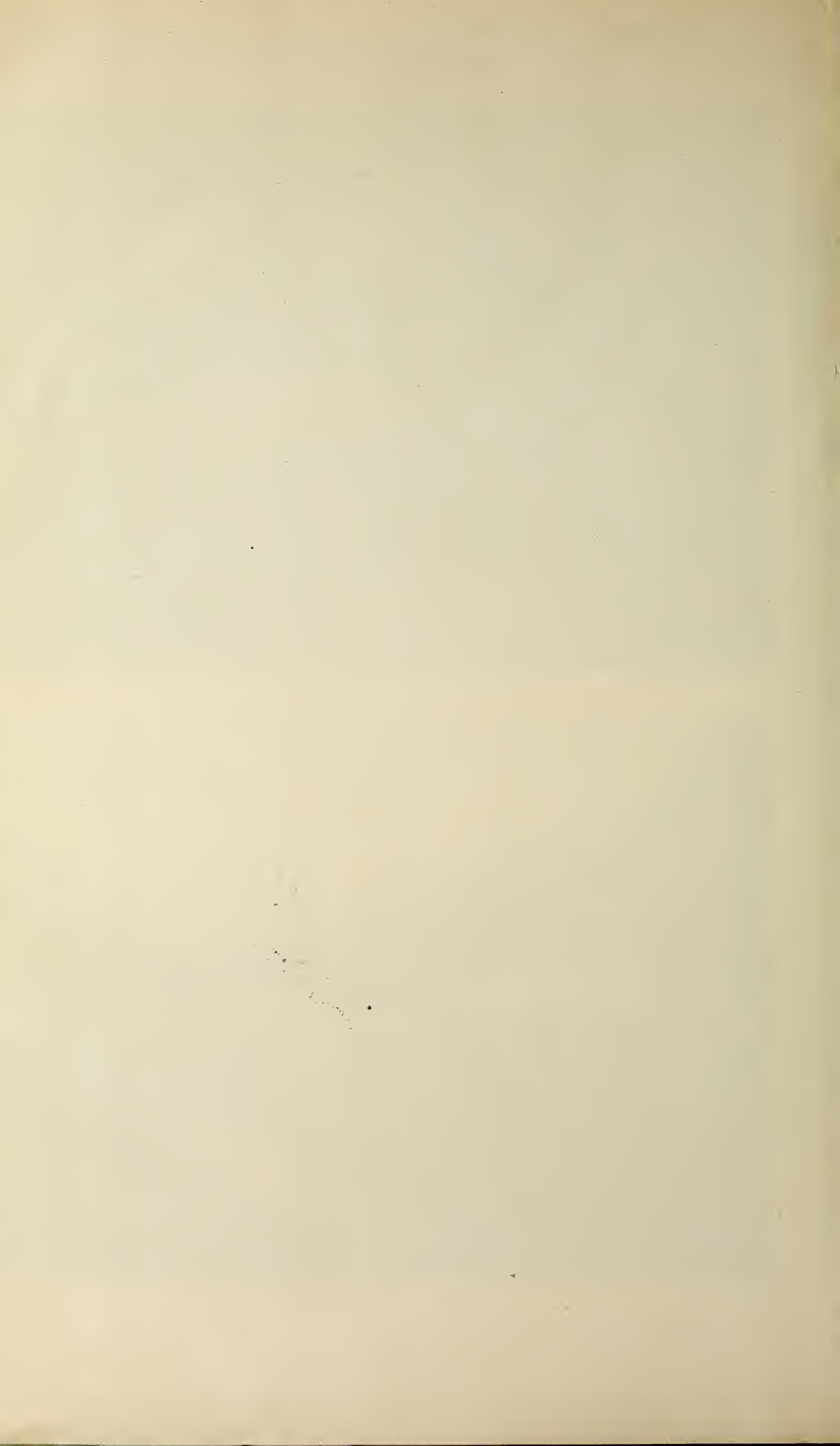


Atelier und Maschinenhaus am Tunnelportal



Arbeiterwohnhäuser in Bütschels





# Installationen in Goppenstein

auf der Südseite

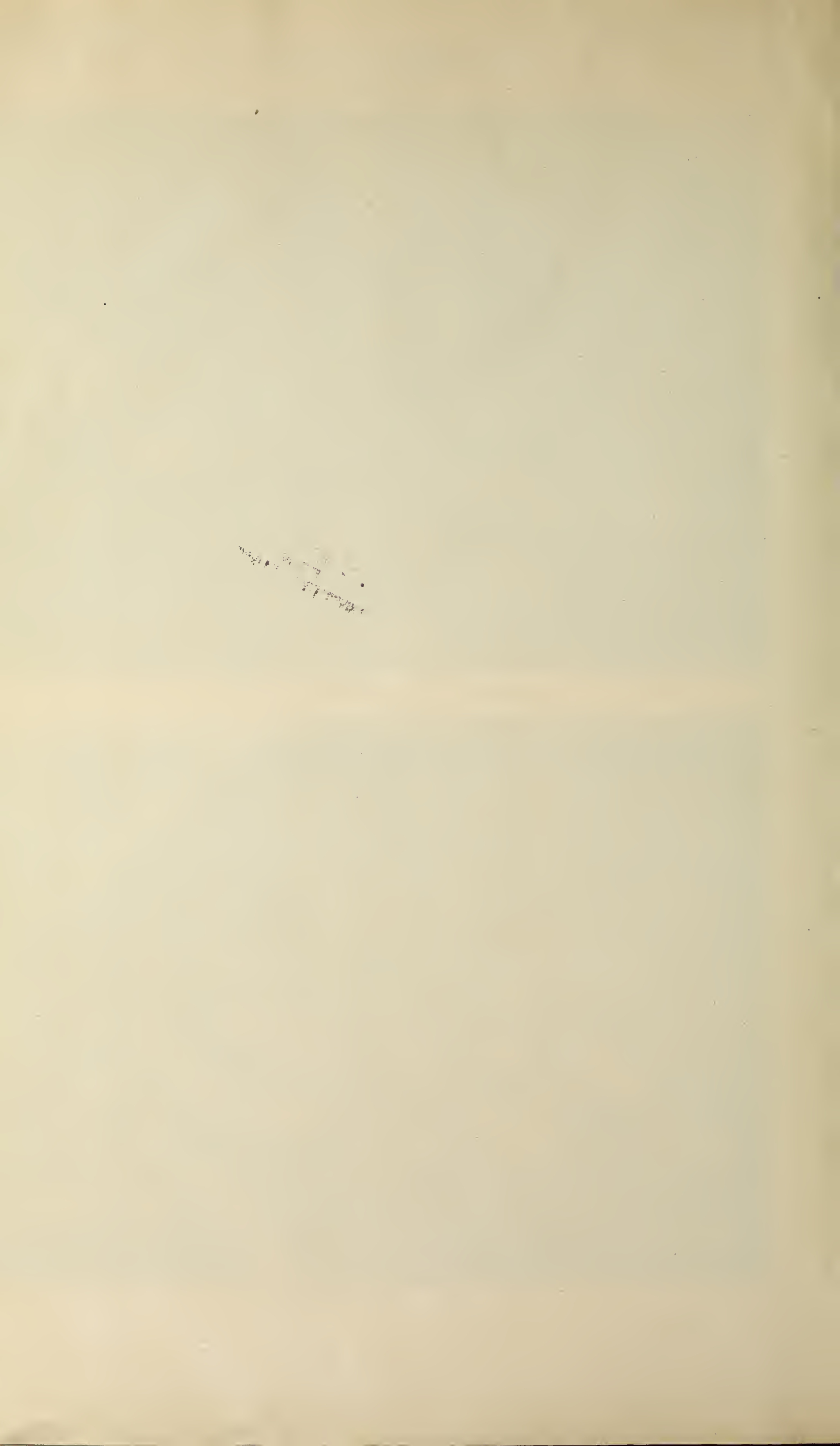


Atelier und Maschinenhaus am Tunnelportal



Arbeiterwohnhäuser und Kantinen








Ansicht des Gebirgsmassives vom Hockenhorn aus gegen Osten gesehen

[illegible]





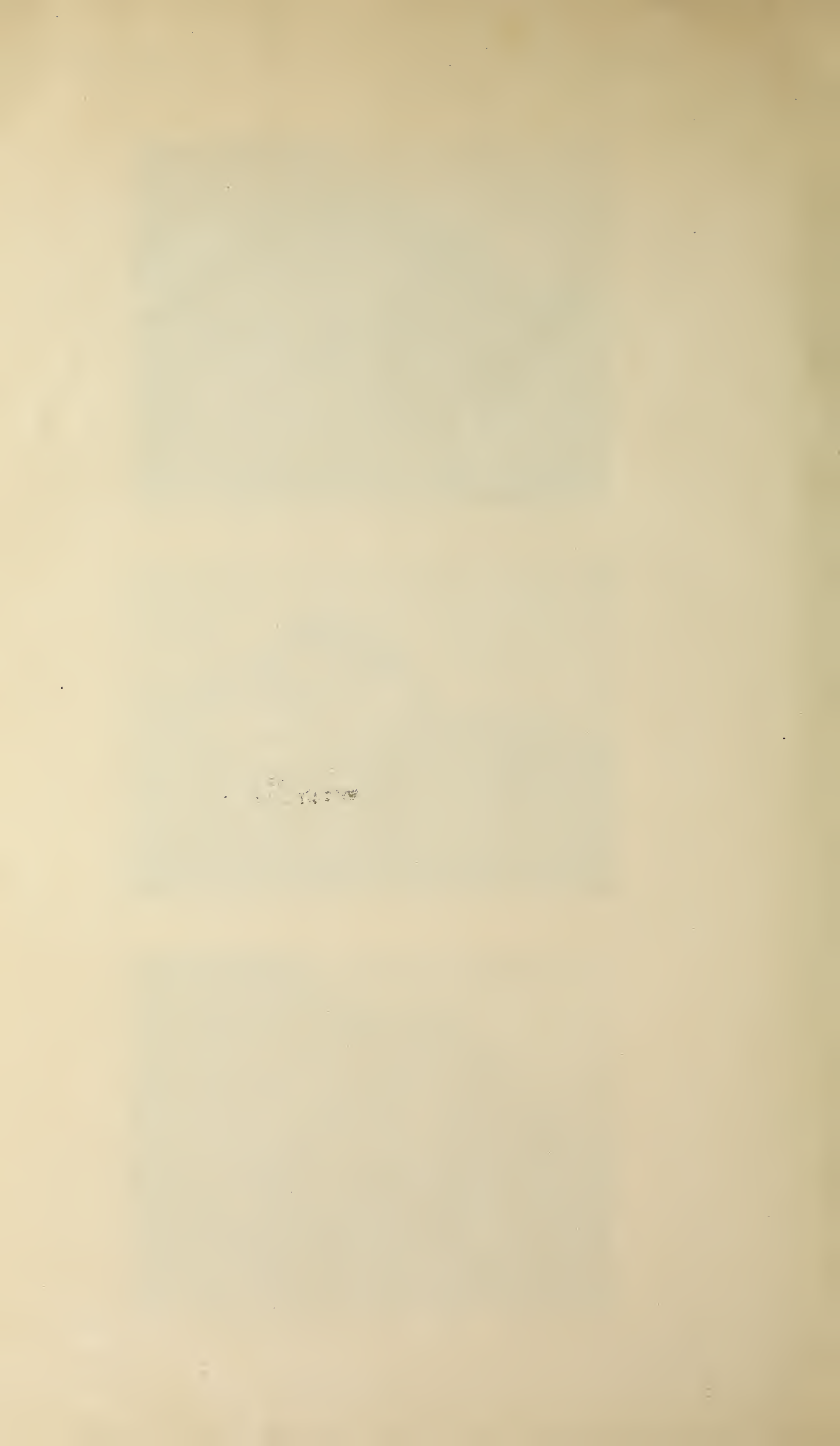
Abb. 1. Kalkdecke über dem Gasterengranit am Lötschenpass

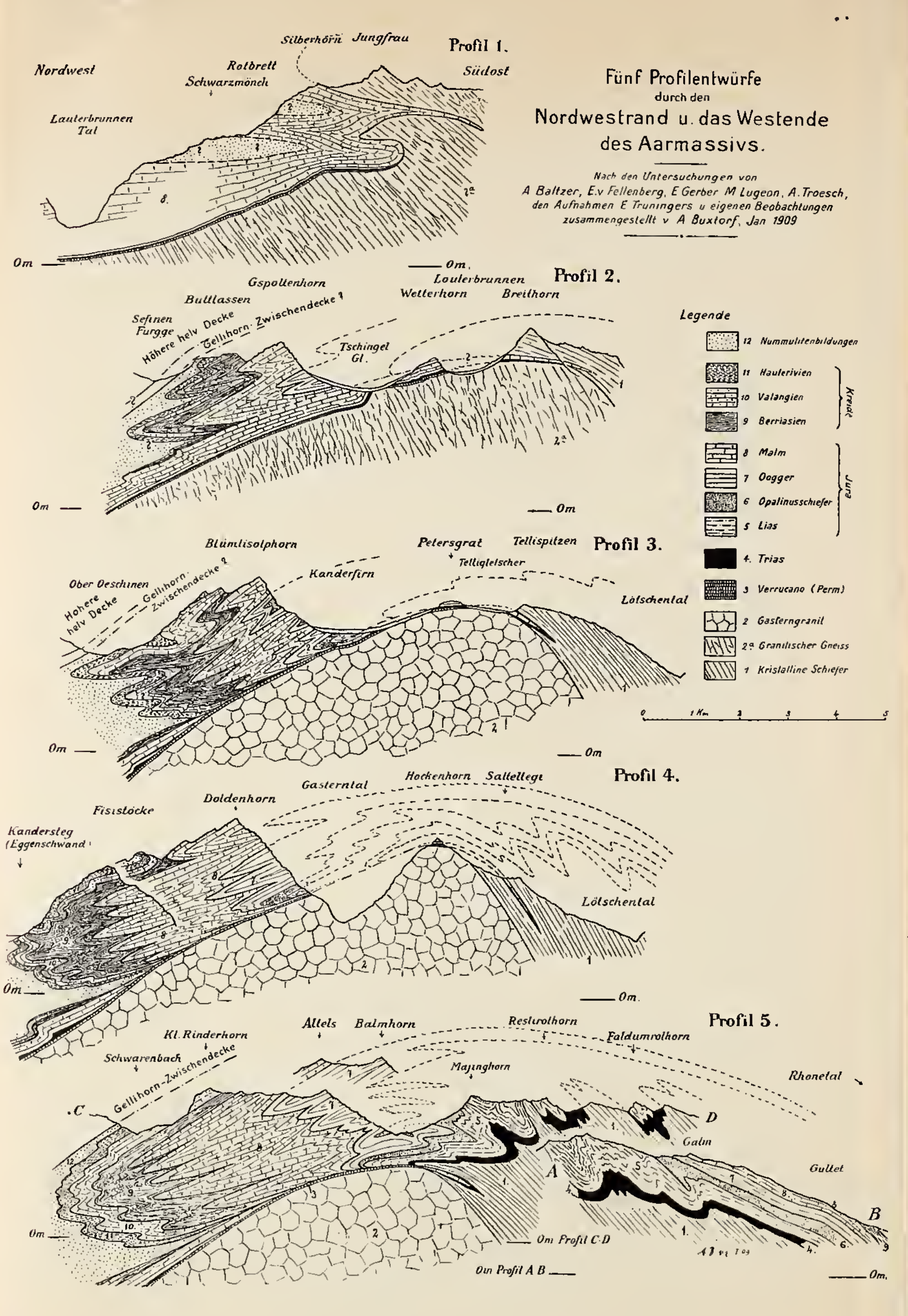


Abb. 2. Kristalline Schieferdecke des Gross- und Klein-Hockenhorns über dem Gasterengranit




Abb. 3. Pegmatitgänge im kristallinen Schiefer auf der Restialp






GEOGRAPH. ARTIST. ANST. KÜMMERLY & FREY, BERN.





